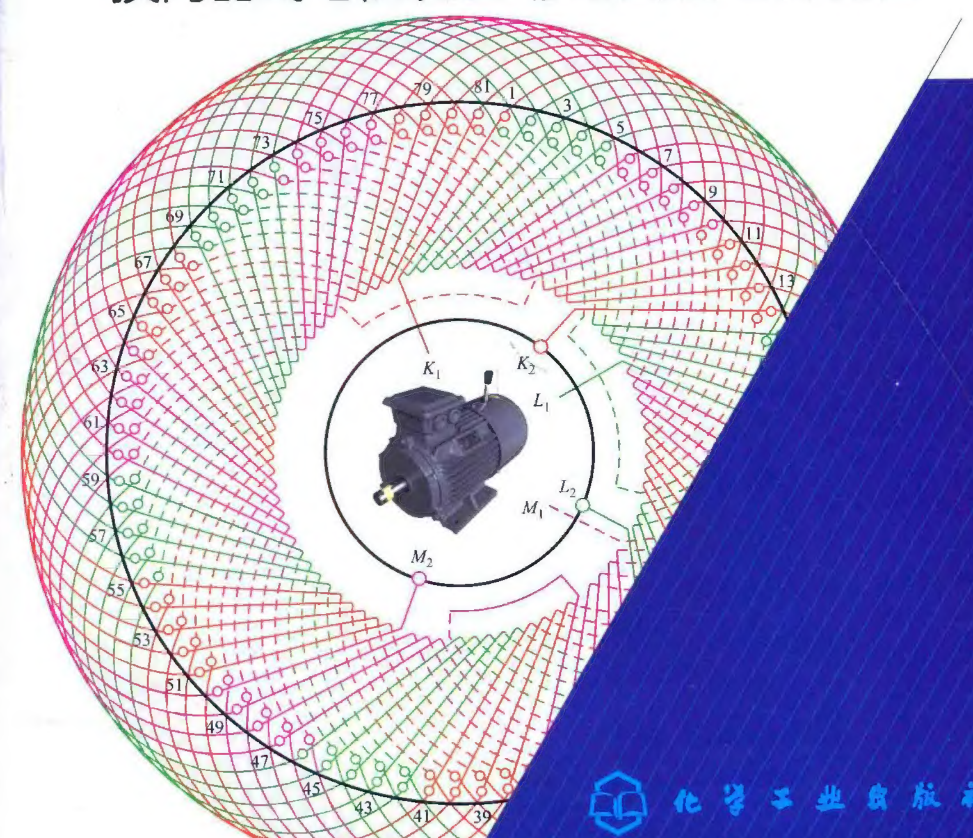
潘品英　等编著

电机绕组端面模拟彩图总集 第四分册

延边三角形启动绕组·正弦绕组·波式绕组·换向器式电枢绕组·移动式发电机绕组



化学工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

电机绕组端面模拟彩图总集. 第四分册，延边三角形启动绕组·正弦绕组·波式绕组·换向器式电枢绕组·移动式发电机绕组/潘品英等编著. —北京：化学工业出版社，2015. 11
ISBN 978-7-122-25053-7

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①潘… Ⅲ. ①电机-绕组-端面-图集
Ⅳ. ①TM303. 1-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 204358 号

责任编辑：高墨荣　　　　装帧设计：张　辉
责任校对：程晓彤

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号　邮政编码 100011）
印　　装：北京画中画印刷有限公司
880mm×1230mm　1/32　印张 13¼　字数 412 千字
2016 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：68.00 元　　

参与编写及制图人员

王亚男　王耀华　王少平　陈　君　陈玉娥

苏小波　苏自强　阮群英　招才万　庞采连

章国强　黎川可　谭丙堃　潘　璟　潘品英

前　言

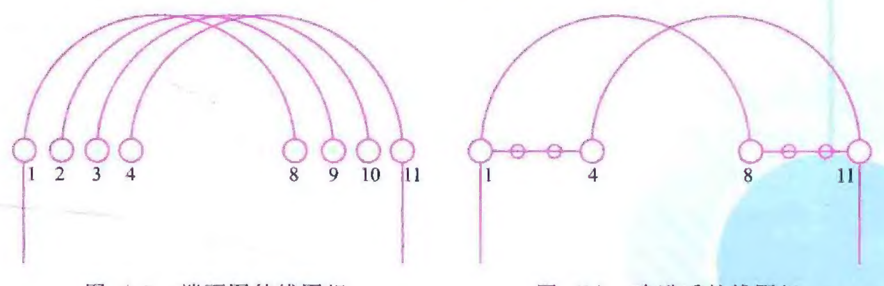
电动机绕组端面模拟画法是笔者原创于二十世纪八十年代末，用于机工版《电动机绕组布线接线彩色图集》已二十余年，历经数次增订改版，至使画法未能划一而存不足，故今趁改编之际，特对原图重新绘制，以求尽善。

模拟画法是从电机绕组进（接）线端部视向，模仿绕组的布接线型式、线圈有效边的分布层次，以及绕组接线布局状况，并配以黄、绿、红三色线条分相，绘制成一种新颖的电机绕组图。因其表现形式与电机绕组实物形象贴切，所以深得广大读者认可，同时也使得众多著作者模仿。

为便于读者看懂模拟图，特作说明如下。

(1) 图中小圆代表定子铁芯槽位及线圈的有效边；因此，单层线圈每槽用单圆表示；双层线圈则用上下两个小圆表示。

(2) 端面模拟图用两小圆和连接小圆的弧线代表一只线圈。



图（a）　端面图的线圈组　　　　图（b）　改进后的线圈组

(3) 线圈组是由几只线圈顺向串联而成，端面模拟画法如图(a)所示；对叠式布线的线圈组则采用改进后的画法如图(b) 所示。

(4) 图例嵌线表中，双层布线时，先嵌入槽底者为“下层”边，后嵌于面者称“上层”边。单层布线无上下层之分，特将每线圈的先嵌边称“沉边”，后嵌于面的端部称“浮边”。

(5) 电机产品除部颁标准，还有上海标准，而各地区也有适应当地发展的标准；就 JO2 系列而言就有七种大同小异的规格。而图例所指的应用实例取自不同版本，所以，举例的型号与所修电机可能会有出入。

《电机绕组端面模拟彩图总集》共分四册，本书是第四分册，内容主要分两部分：一是三相电机特种型式绕组。其中三相延边三角形启动绕组是笔者设计创绘成系列图例；而三相正弦绕组除个别是笔者设计之外，大部分取自相关资料改绘而成；至于三相交流转子波绕组一章精美例图则特邀陈君、潘璟二位用电脑制作。本书另一内容是换向器式电枢绕组。其以往的画法是用单元槽平面展开，与实物有一定距离，修理用图不便，而笔者所创是以实槽为单位的端面模拟画法，过去采用整机绘制，线条繁多，也觉不便。为此，本书进行了简化改进，只画出起始槽线圈的布接线；再用相继的第 2 槽布接线为引导，以此举一反三，作为后续线圈接线示例。然后再画出最后一槽线圈的布接线，用以检验是否有重接或漏接。更值得一提的是，直流电机以槽为单位整机画法创用于 1993 年的《家用及中小型电动机重绕修理》(上海交大版)，继而收入机工版《电动机绕组布线接线彩色图集》，但整图只能结合实物才能确定接线位置，一旦离开实物，1 号换向片便犹如失去坐标基准，原来拆线记录无论如何正确，对重修再无实用意义。

为此，如何使直流绕组图（包括其他型式图）真正实用是笔者多年来探索的问题，直至今次彩图总集编撰，才从单相串励电枢中获得启发，引入坐标性参数——“A 值”。从此使拆修记录成为真实的重绕依据；如果相关部门发布的直流电机绕组资料中，加入参数 A，便赋予了数据的实用意义。最后一章是移动式发电机，包括三相和单相发电机及其配用的辅助发电机。此外，书后还增设了相关附表，使发电机图例与附表绕组数据相对应，以便修理者参考。

本书共计收入各类电机绕组 195 例和 283 幅彩图。至此《电机绕组端面模拟彩图总集》四册全部完成。限于编者水平与能力，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。谢谢！

编著者

目 录

第 1 章

三相电动机延边三角形启动绕组

三相笼型电动机是应用最普遍的动力设备。它虽然具有结构简单、价格低廉、使用维护方便和工作可靠性高等优点，但它的启动电流7倍于额定电流将会造成供电线路电压下降，可能造成同一线路在用电动机工作进入非正常状态，甚至跳闸停运。如果启动频繁，过大的启动电流还会引起电动机本身发热，加速绕组绝缘老化而缩短使用寿命。因此，当电源容量有限时，要求容量较大的笼型电动机采取技术措施来限制启动电流。通常的办法是减压启动，实施方法主要有：补偿器启动、电阻器启动和Y-△转换启动等。其中前两种都要附加价格可观且体积又大的启动设备；而使用中还要消耗电能，其经济性较差。Y-△启动在性价比上优于前者，但在减小启动电流的同时，电动机的启动转矩也随之降低，这时的启动转矩将不足于原来的1/3，它只宜于空载或带着空载设备启动，而且无法调节启动参数。

延边三角形启动是类似于Y-△启动的改进形式，它是以三相绕组为△形接法运行的笼型异步电动机改绕而成的一种降压启动绕组。它把三相绕组安排特定的抽头，接成内角外星的所谓延边三角形绕组，启动完成后再通过接触器线路或专用开关，把绕组改接回角形，使三相电动机投入正常运行。采用这种启动方式的目的是可在设定限制电动机启动电流的同时获取相应的启动转矩，从而满足机械设备在不同程度的轻载启动。通常，其降压启动的效果介乎于角形接法电动机全压启动至改为星形降压启动之间。

延边三角形绕组有9根引出线，每相绕组分成两段，如图1-1所示。其中U1、V1、W1是三相绕组相头；U2、V2、W2为相尾；而U0、V0、W0是三相绕组的延边抽头，它将每相绕组的角形段和延边段分界开。延边启动时的引出线端接法如图1-1左上角端接图所示，即U2、V2、W2分别与抽头V0、W0、U0对应连接；运转时则抽头空置不接，将三相绕组复回角形运行。

延边三角形启动绕组的限流效果与抽头比例有直接关系，如果设计抽头比例$\beta=1:1$，即延边段与角形段的线圈相等时，启动电流约为$I_K\approx0.5I_{KD}$（I_{KD}为原△形接法时的启动电流），通常是抽头比例愈大（即抽头愈靠近相尾），其启动电流愈小，最极端的状态是相当于把绕组接成Y形，其启动电流将降至33%I_K以下；反之若把抽头移到相头，三相绕组就呈△形接法，即电动机处于全压启动而没有降压效果，则启动电流最大。然而，随着抽头改变，启动转矩亦随之作相应的改变。因

2:1
延边启动

角形运转



图 1-1　延边三角形启动绕组接线示意端接图及反比例端接图

此，一旦电动机转矩低于机械静态力矩时电动机就不能完成启动（即转不起来了），所以，延边抽头比例的设计不能一味考虑降压限流，还必须注意启动转矩能否满足所拖动机械设备的启动要求。表 1-1 所示是延边三角形绕组常用抽头比例与启动电流及启动转矩的相应关系。

表 1-1　延边三角形绕组常用抽头比例与启动电流及启动转矩

抽头比例	降压启动电流 I_K	相应启动转矩 T_K
1∶1	$\approx 0.5I_{KD}$	$< 0.5T_{KD}$
2∶1	$\approx 0.43I_{KD}$	$< 0.43T_{KD}$
1∶2	$\approx 0.6I_{KD}$	$< 0.6T_{KD}$
3∶1	$\approx 0.4I_{KD}$	$< 0.4T_{KD}$
3∶5	$\approx 0.57I_{KD}$	$< 0.57T_{KD}$
1∶3	$\approx 0.666I_{KD}$	$< 0.666T_{KD}$

注：I_{KD}——电动机△形接法时全压启动的启动电流；
T_{KD}——电动机△形接法时全压启动的启动转矩。

表 1-1 中数据仅供选择抽头比例时参考。因为电动机启动电流的影响因素很多，绝非一个简单公式所能精确决定，即使相同规格电机，若不同厂家，其参数值也有相当的偏差，又何况电动机启动过程是动态的，即使是专业性测量，也未必能获得精准的数据。所以，在工程上就没必要作精确的计算。上表所列是业内公认的算法，故为本书采用。

延边三角形启动电动机没有系列标准产品，通常是应用户要求而订制；而有条件的企业也可自行改绕。但由于小容量电动机无需降压启动，而大容量则选择其他更理想的启动方式，故延边三角形启动则主要用于几十千瓦的中容量电动机。因此，延边启动电动机绕组型式主要是双层叠式；但由于供电终端变压器容量较小时，为使机械设备安全运行，也不得不对十几千瓦的小容量电机进行启动电流限制，故而有部分单层改绕单层或单层改绕双层的延边绕组。

至于延边启动绕组的抽头不同于静止变压器抽头，它受绕组结构的限制，如果抽头不当，将对旋转电机的启动和运行带来不良影响，甚至不能启动。因此，延边启动绕组抽头和线圈分布必须做到对称平衡，以克服单边磁拉力。抽头方式，有如下两种。

① 对称分布法　保留原绕组每组线圈结构不变，而把线圈按对称分布原则置于延边（Y形）段和△形段，如图1-17所示。然后保持原线圈组极性分别连接。

② 极相分裂法　即把原绕组每极相线圈组按比例分裂成两组，例如图1-25的36槽2极1∶1抽头所示，分裂后的一组归属（延边）Y形段；另一组则归属△形段。然后，依原线圈组极性不变分别接成延边段和△形段。

一般而言，两种抽头方式对电机性能并无影响，但对称分布法的线圈组数少，其接线比较简练，应拟优先选用，但因绕组结构条件所限而不能应用于2极电动机，使其无法实施应用而受到限制。极相分裂法实施起来比较容易，但线圈组将较原来增加一倍，使接线变得非常烦琐，工艺性较差。由此可见，延边绕组的抽头比例是不能任意选择的，因此，改绕延边启动绕组时除考虑启动因素外，还必须结合绕组结构选用抽头比例。延边启动电动机常与机械设备配套使用，故其抽头比例是固定的，修理这种电机在拆线时，必须查清抽头比例，并据此重绕，否则会因启动参数的改变而不能正常启动。抽头比例的确定可参考笔者著的《电工技术问答详解》上册7.2节介绍的方法。

此外，当延边绕组的抽头比例不为1∶1时，即延边段与角形段线圈数不相等时，延边抽头比例可以反用。例如图1-5的抽头比例是按1∶2设计的，若嫌限流效果不理想，则可将电源改由U2、V2、W2接入，并把U0与W1、V0与U1、W0与V1分别连接如图1-1下方端接图所示，便可使抽头比例改为2∶1。这时，改接后启动电流将降至$0.43I_{KD}$，但必须考虑启动转矩相应降低后能否顺利启动。

1.1 中容量电动机改绕延边三角形启动绕组端面布接线图

延边三角形启动电动机绕组以铁芯槽数界定分为两节，本节中容量实指铁芯为48槽以上的电动机，包括48槽、54槽、60槽和72槽定子。三相异步电动机规格很多，本节仅收入应用较普遍的绕组21例；布线型式主要是双层叠式，而单层布线仅1例。

1.1.1 72槽8极（$y=8$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=72$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=72$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

本例采用对称分布法1∶1抽头，即延边与三角边的线圈数相等如图1-2 (a) 所示。每组由3只线圈串接而成，每相8组线圈，分成两段，即延边与角形段；两部分绕组在定子空间上对称安排，而且整个延边段由正极性线圈组串联，而角形段则反之，由负极性线圈组成。本例适用于采用一路串联老系列电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-2 (a)、(b) 所示。

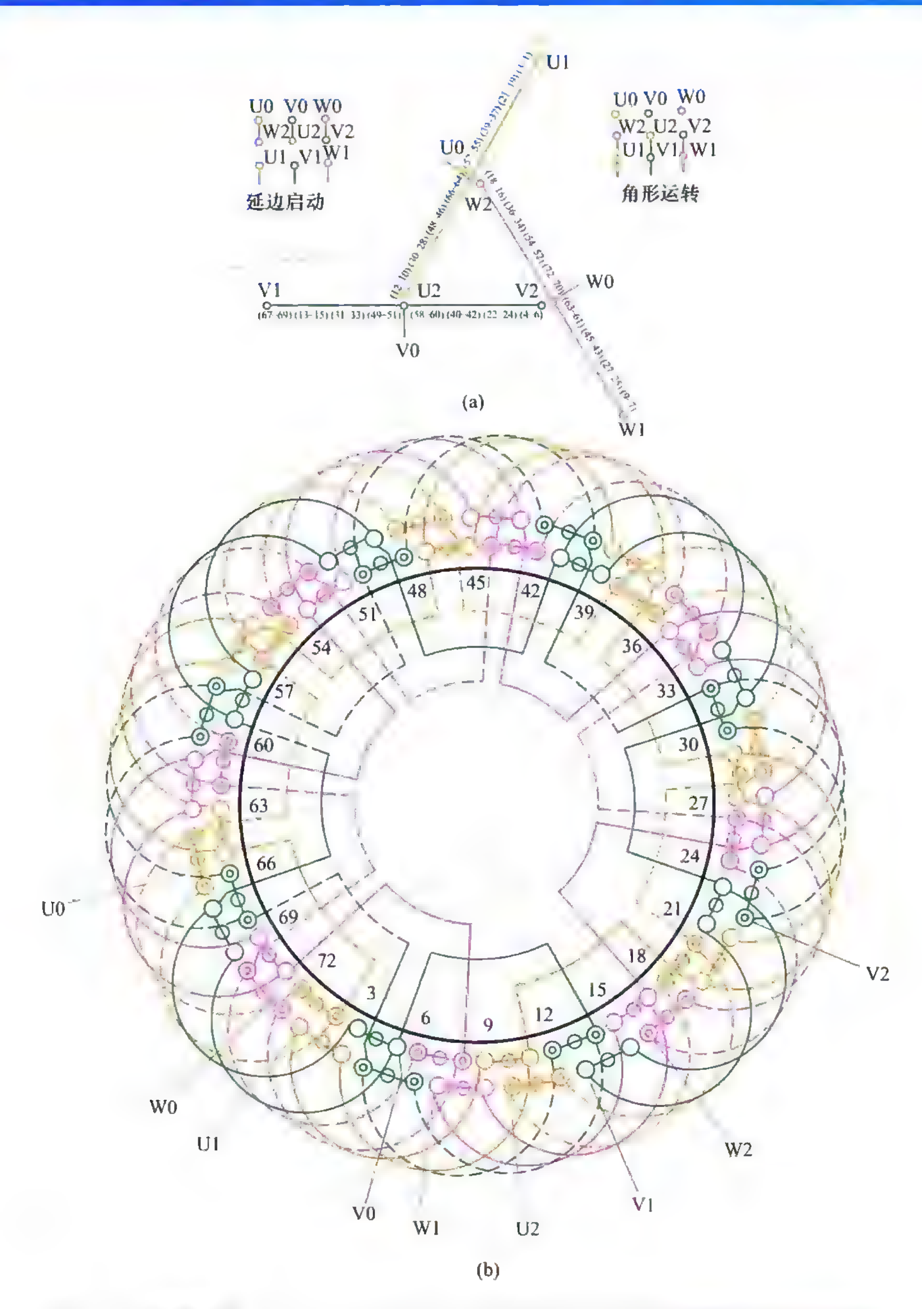


图 1-2　72 槽 8 极（$y=8$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.2 72 槽 8 极（$y=8$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=72$　　电机极数 $2p=8$

总线圈数 $Q=72$　　每组圈数 $S=3$

线圈组数 $u=24$　　每槽电角 $\alpha=20°$

线圈节距 $y=8$　　绕组系数 $K_{dp}=0.946$

绕组极距 $\tau=9$　　抽头比例 $\beta=1:1$

并联路数 $a=2$　　启动电流 $I_K \approx 0.5 I_{KD}$

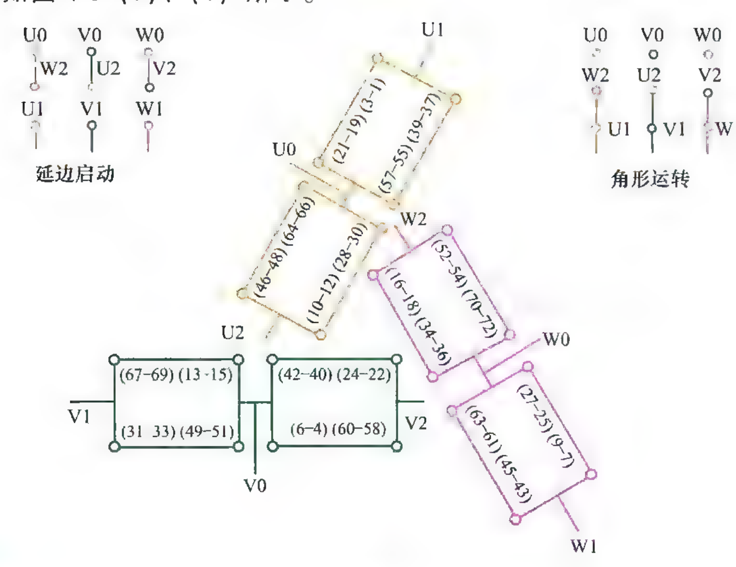
出线根数 $c=9$

（2）绕组布接线特点及应用举例

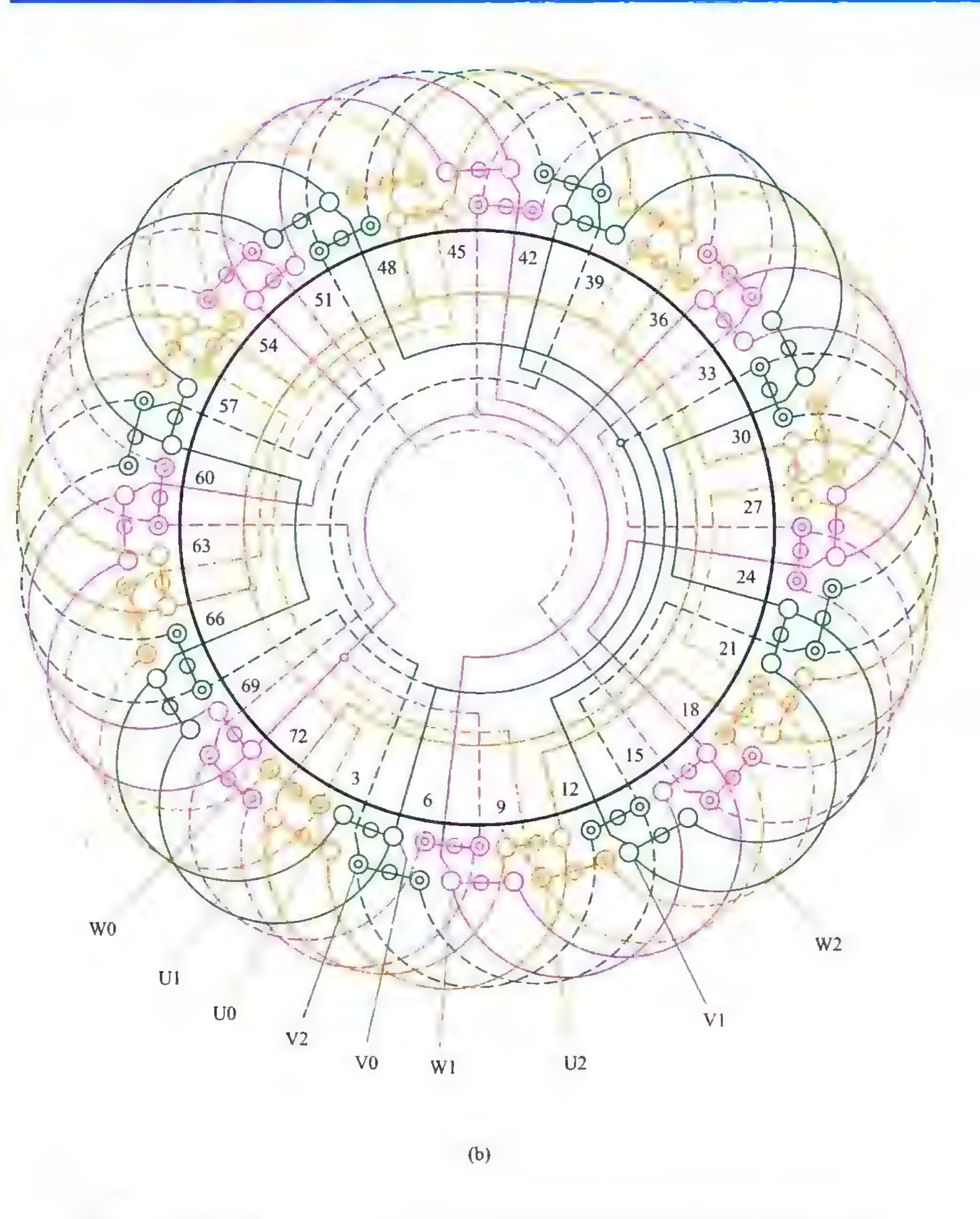
本例是 8 极绕组，每极相线圈数为 3。采用对称分布法 1∶1 抽头，即延边与角形边的线圈数相等，均由 4 组共 12 只线圈组成；因 $a=2$，每段分两分路，每分路有两组线圈。本绕组用于 Y250M-8 等电动机绕组改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-3（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-3　72 槽 8 极（$y=8$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.3 72 槽 8 极（y=8、a=4）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

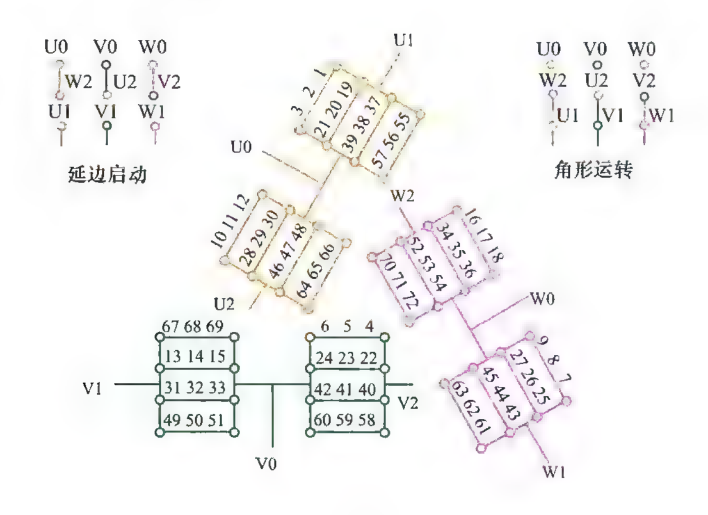
定子槽数	$Z=72$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=72$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

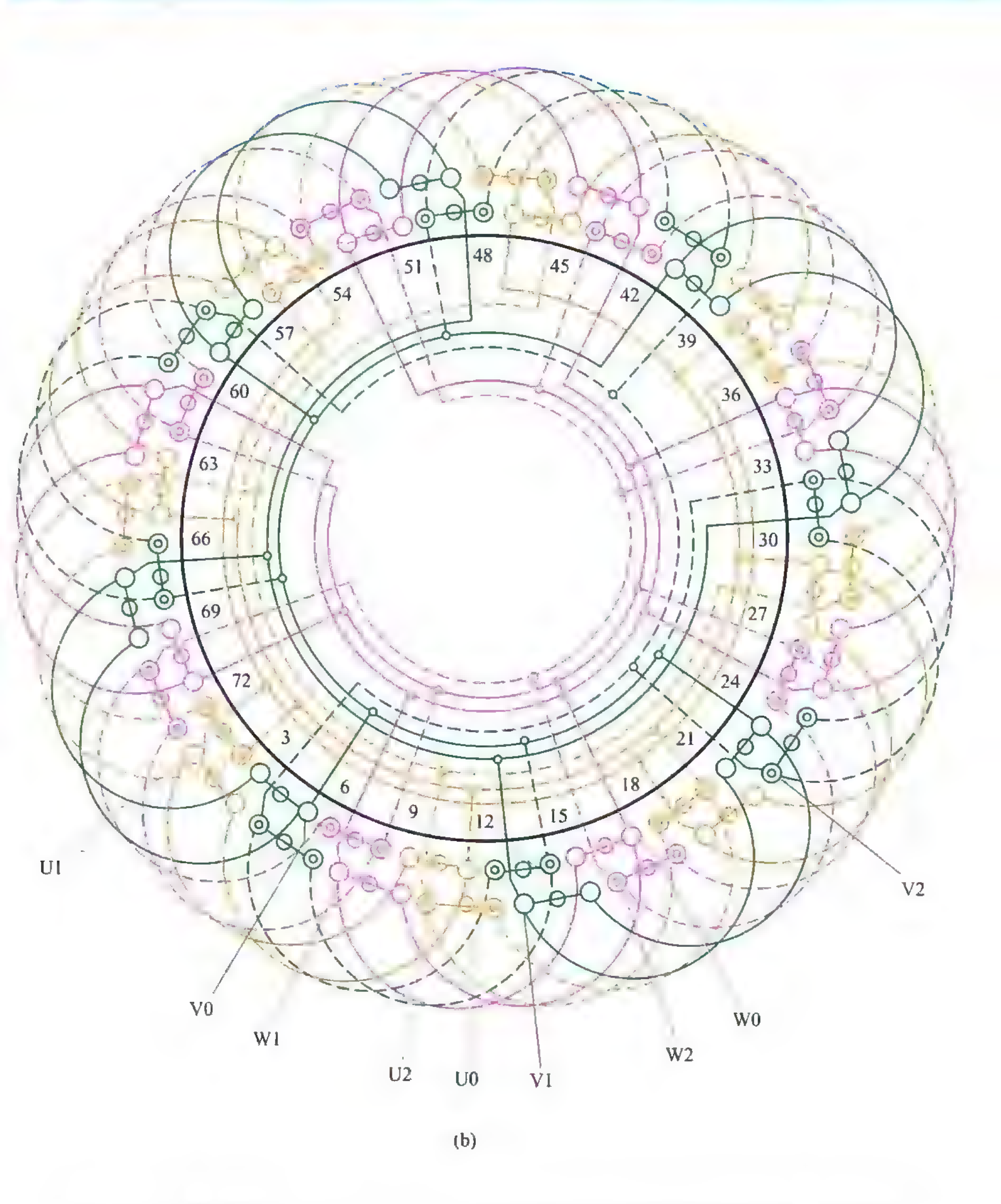
本例是 72 槽 8 极双层叠绕组并用对称分布法改绕 1∶1 延边三角形。绕组由三联组构成，每相有角形和延边两段，每段有 4 个支路，每支路仅一组线圈。本绕组用于 Y280M-8 等系列电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图 1-4（a）、(b）所示。



(a)



(b)

图 1-4 72 槽 8 极（$y=8$、$a=4$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.4　72 槽 8 极（$y=8$、$a=1$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

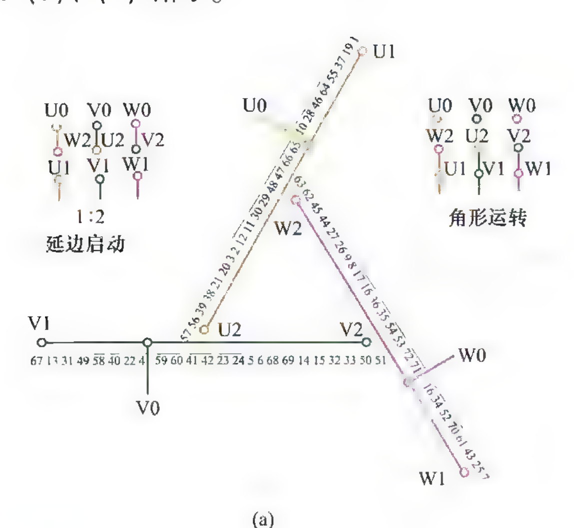
定子槽数	$Z=72$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=72$	每组圈数	$S=2$、1
线圈组数	$u=48$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

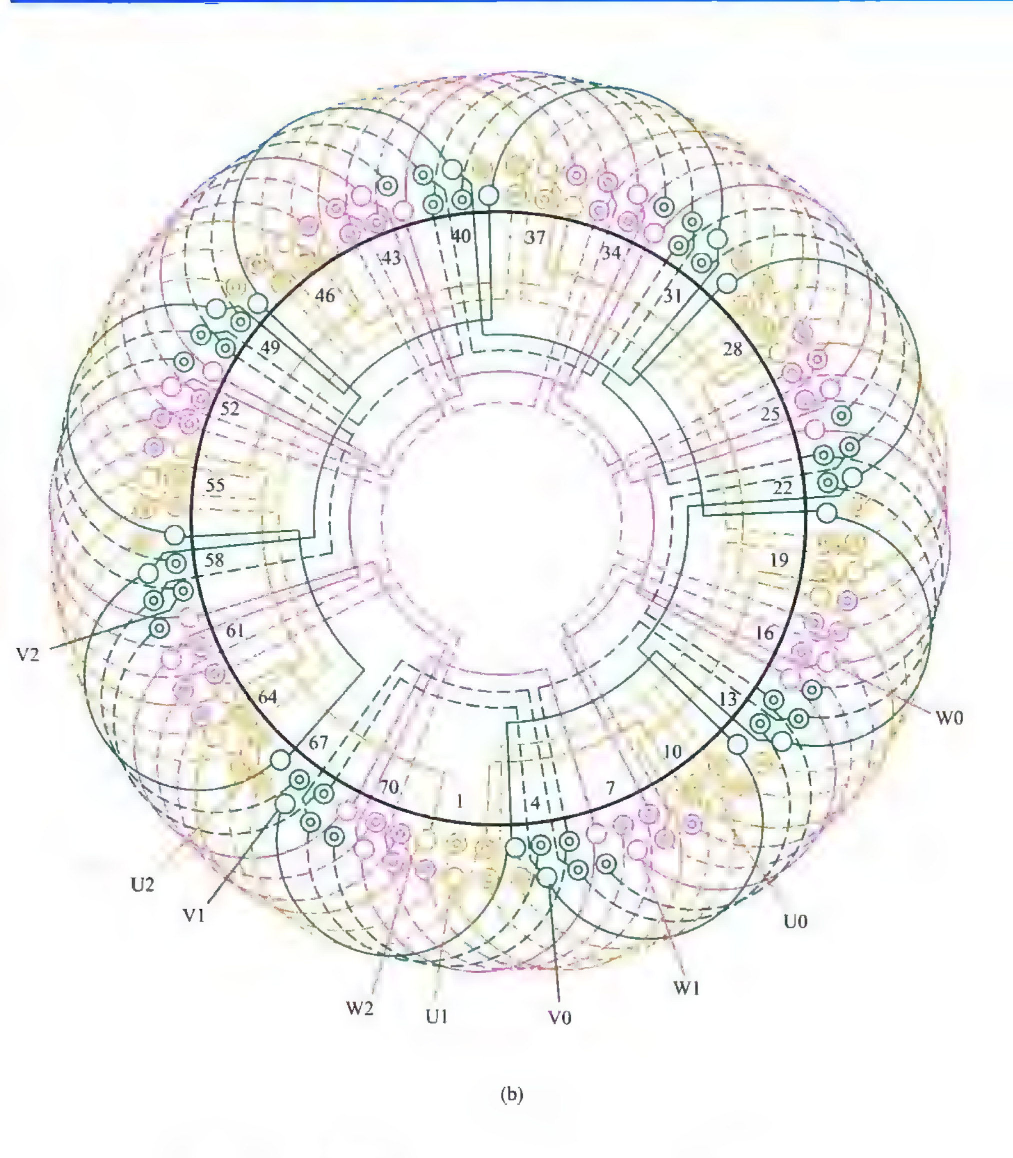
本例绕组采用 1∶2 抽头，并用极相分裂法分配线圈，即延边部分为单圈组，△形是双圈组。两部分线圈分别按相邻反极性串联。本绕组还可反用 2∶1 抽头，其接线可按图 1-1 下方端子进行，这时启动电流应约为 $I_K \approx 0.43 I_{KD}$，相应的启动转矩也随之降低。绕组可用于 Y225M-8 等电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-5（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-5　72 槽 8 极（$y=8$、$a=1$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.5 72槽8极（$y=8$、$a=2$）1∶2（或2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=72$　　电机极数 $2p=8$

总线圈数 $Q=72$　　每组圈数 $S=1、2$

线圈组数 $u=48$　　每槽电角 $\alpha=20°$

线圈节距 $y=8$　　绕组系数 $K_{dp}=0.946$

绕组极距 $\tau=9$　　抽头比例 $\beta=1:2$

并联路数 $a=2$　　启动电流 $I_K\approx0.6I_{KD}$

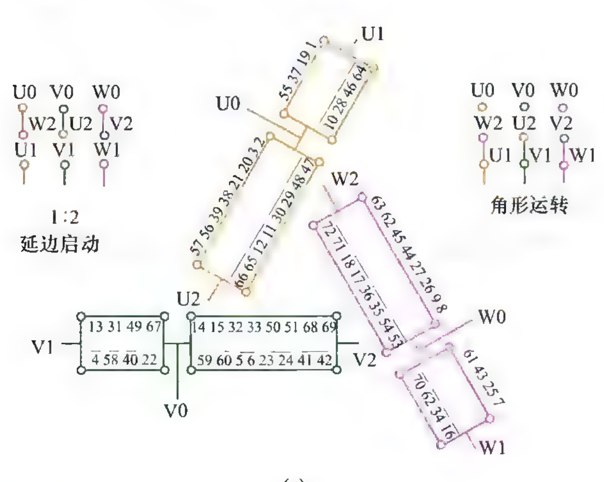
出线根数 $c=9$

(2) 绕组布接线特点及应用举例

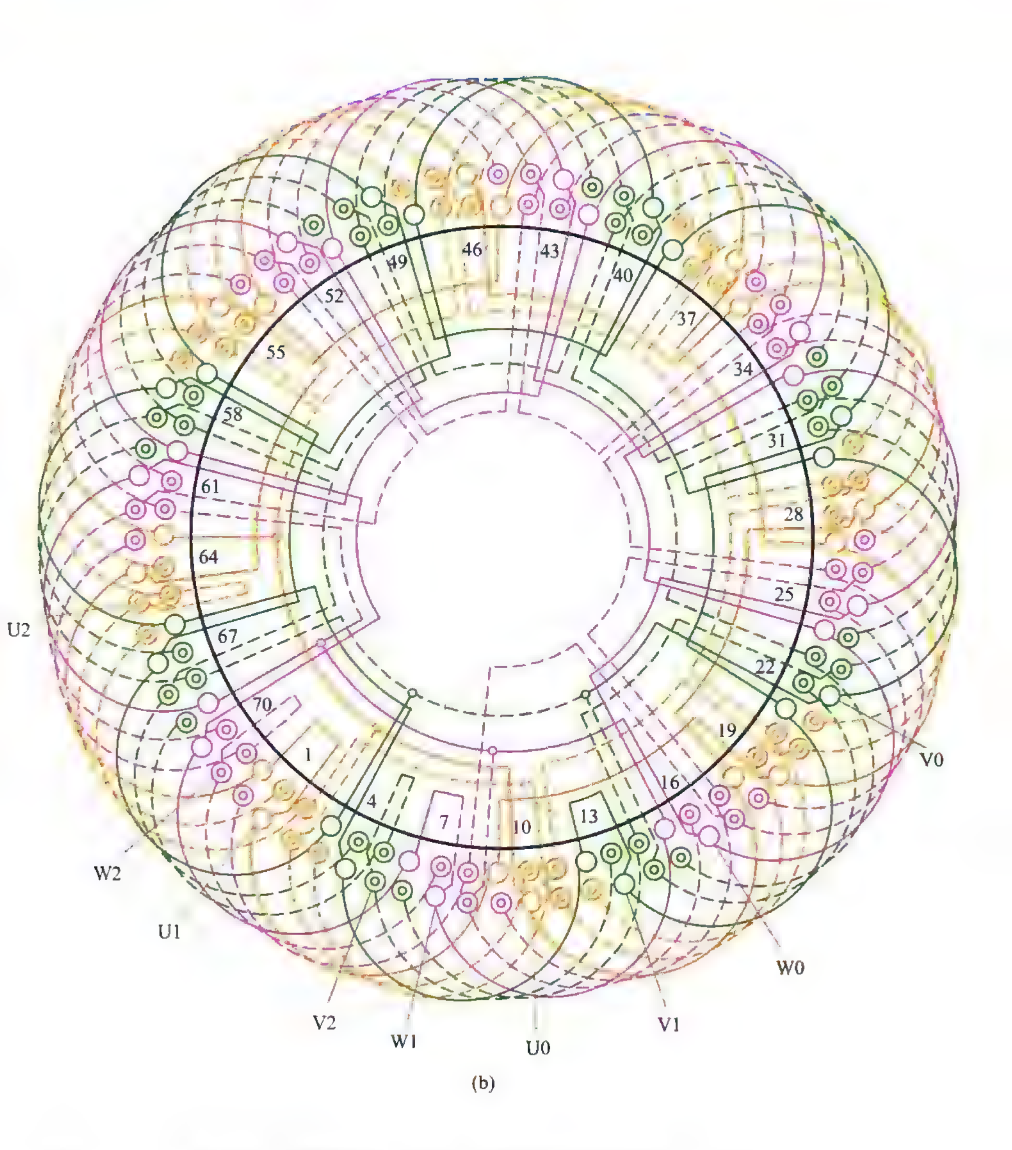
本绕组每极相线圈数 $S=3$，当采用极相分裂法安排时，取延边为单圈组，角形为双圈组。故总线圈组数多达48组，致使接线烦琐。本例也可反用作2∶1抽头，这时改由图1-1下方端子接线，即使延边为双圈组，角形为单圈组。改2∶1后，启动电流约为 $I_K\approx0.43I_{KD}$；同时启动转矩也有较大的下降。此绕组可用于Y250M-8等电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-6 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-6　72 槽 8 极（y=8、a=2）1∶2（或 2∶1）抽头
延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.6　72 槽 8 极（$y=8$、$a=4$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

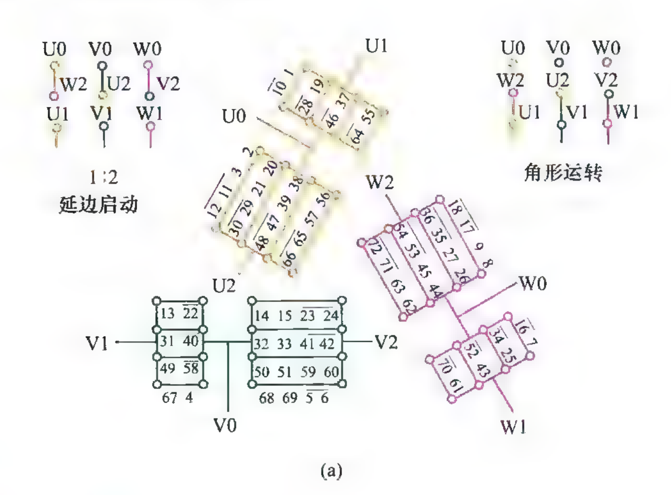
定子槽数	$Z=72$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=72$	每组圈数	$S=1$、2
线圈组数	$u=48$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

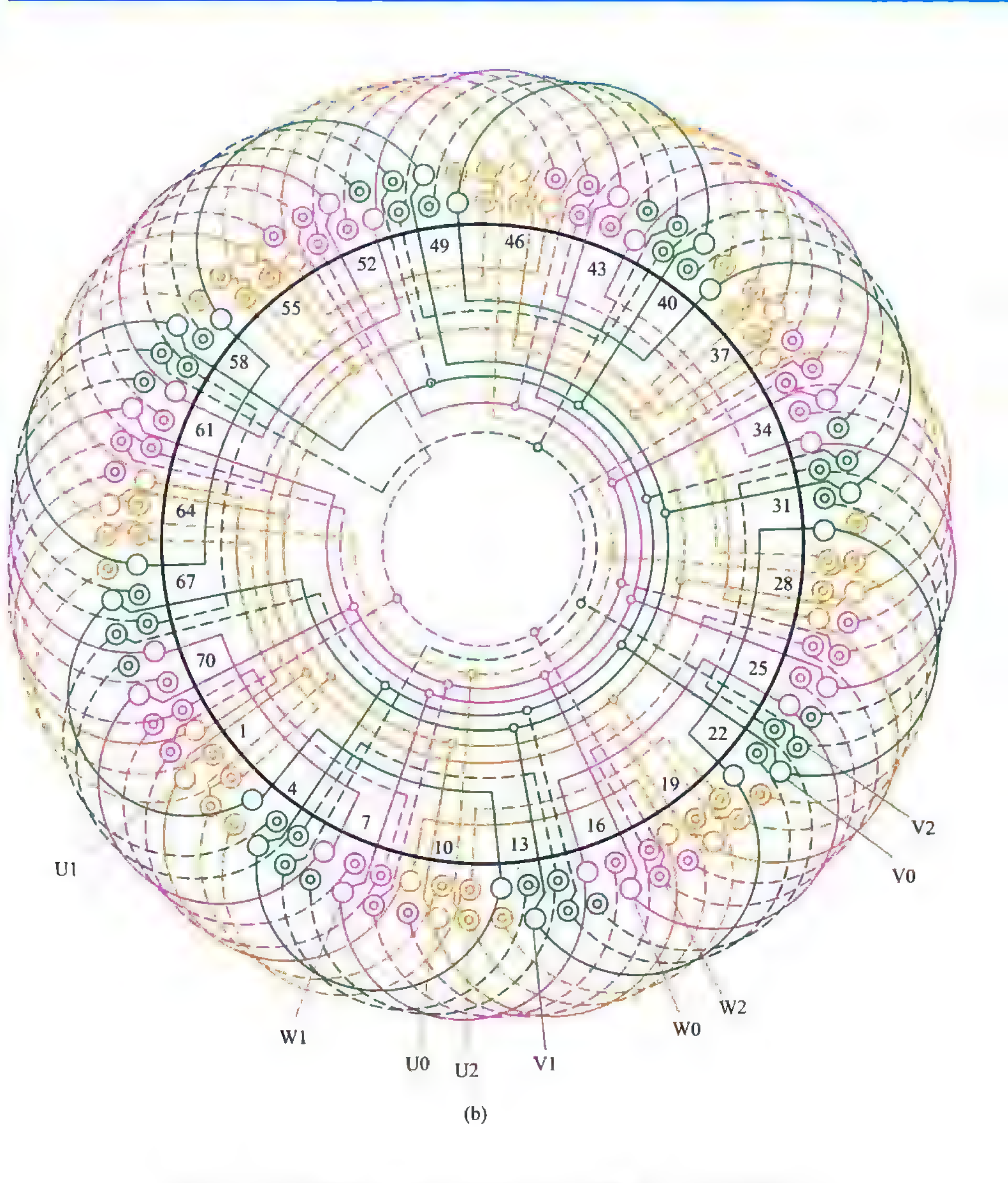
本例是 8 极 4 路绕组，抽头比例为 1∶2，采用极相线圈分裂法安排，即将原每组 3 圈分成单圈组和双圈组，即 1∶2 时单圈组是延边部分，双圈组是角形部分。当绕组改作 2∶1 抽头时，端子接线如图 1-1 下方所示改接，这时，延边部分是双圈组，角形部分为单圈组。但改后电动机启动参数将有所改变，即启动电流降为 $I_K \approx 0.43 I_{KD}$；启动转矩也相应降低。此绕组可用于 Y280M-8 等电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-7（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-7　72 槽 8 极（$y=8$、$a=4$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.7 60槽4极（$y=11$、$a=4$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=60$	每组圈数	$S=3$、2
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=11$	绕组系数	$K_{dp}=0.875$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=3:2$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K\approx0.455I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

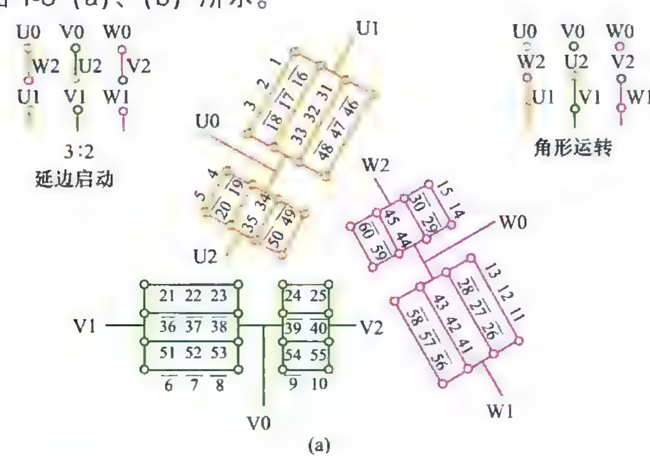
本例采用3∶2抽头延边启动，即极相组线圈采用分裂法改绕，将原来每组5只线圈分裂成3圈和双圈两组，并把3圈组置于延边段，双圈保留于角形段。接线时逐相进行，而且先接延边段，后接角形段，并按显极布线规律，即相邻组的极性相反进行连接。

此绕组较之采用对称分布法，因线圈组多一倍，故使接线较繁；但它可反接改变抽头为2∶3，其反用的接线可参考图1-1下方端子进行；这时，启动电流将会略有增加，约$I_K\approx0.556I_{KD}$，而启动转矩也相应提高。

此延边启动绕组适用于JO-94-4电动机改绕。但其他规格改绕时则必须换算。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-8（a）、（b）所示。



(a)

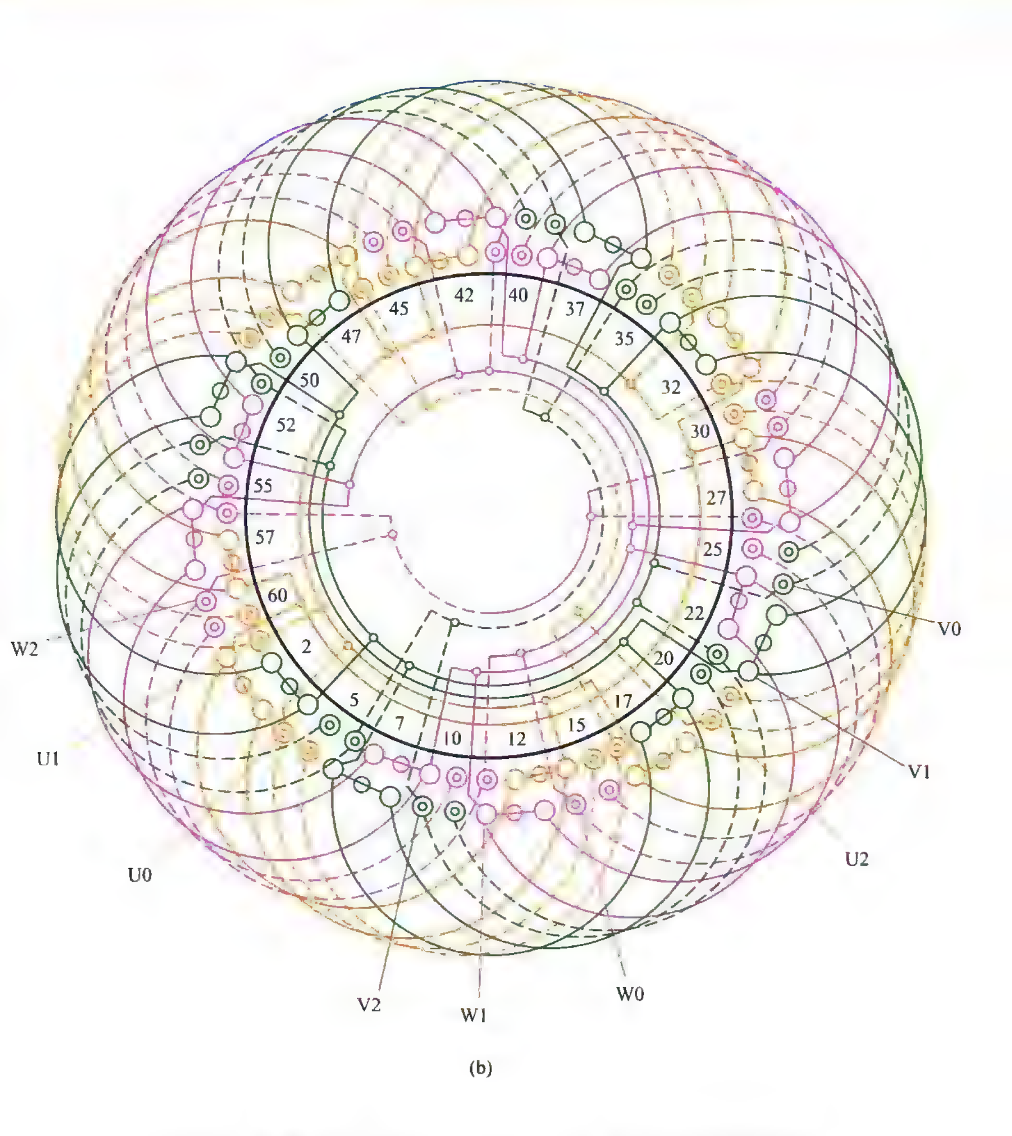


图1-8　60槽4极（$y=11$、$a=4$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.8　60 槽 4 极（$y=12$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=60$	每组圈数	$S=5$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=12$	绕组系数	$K_{dp}=0.91$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

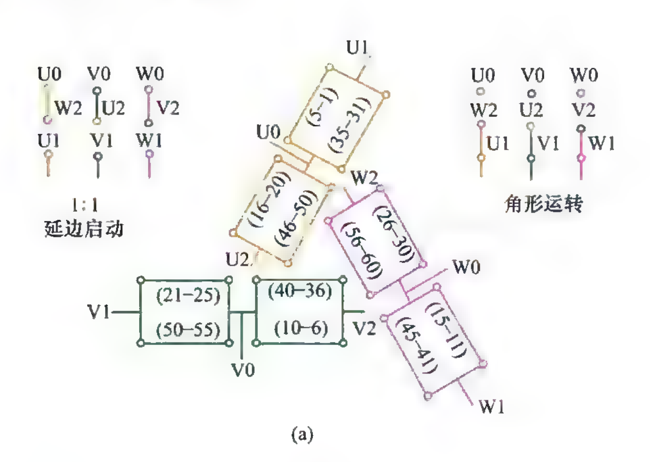
（2）绕组布接线特点及应用举例

本例采用对称分布法 1∶1 抽头，即把 4 极绕组中相对称的同极性两组线圈串联，构成延边段和角形段。这种接线的优点是线圈组数少，只是分裂法的一半，故接线也简练，但不能变换抽头比例，而其应用还受到绕组结构的限制。

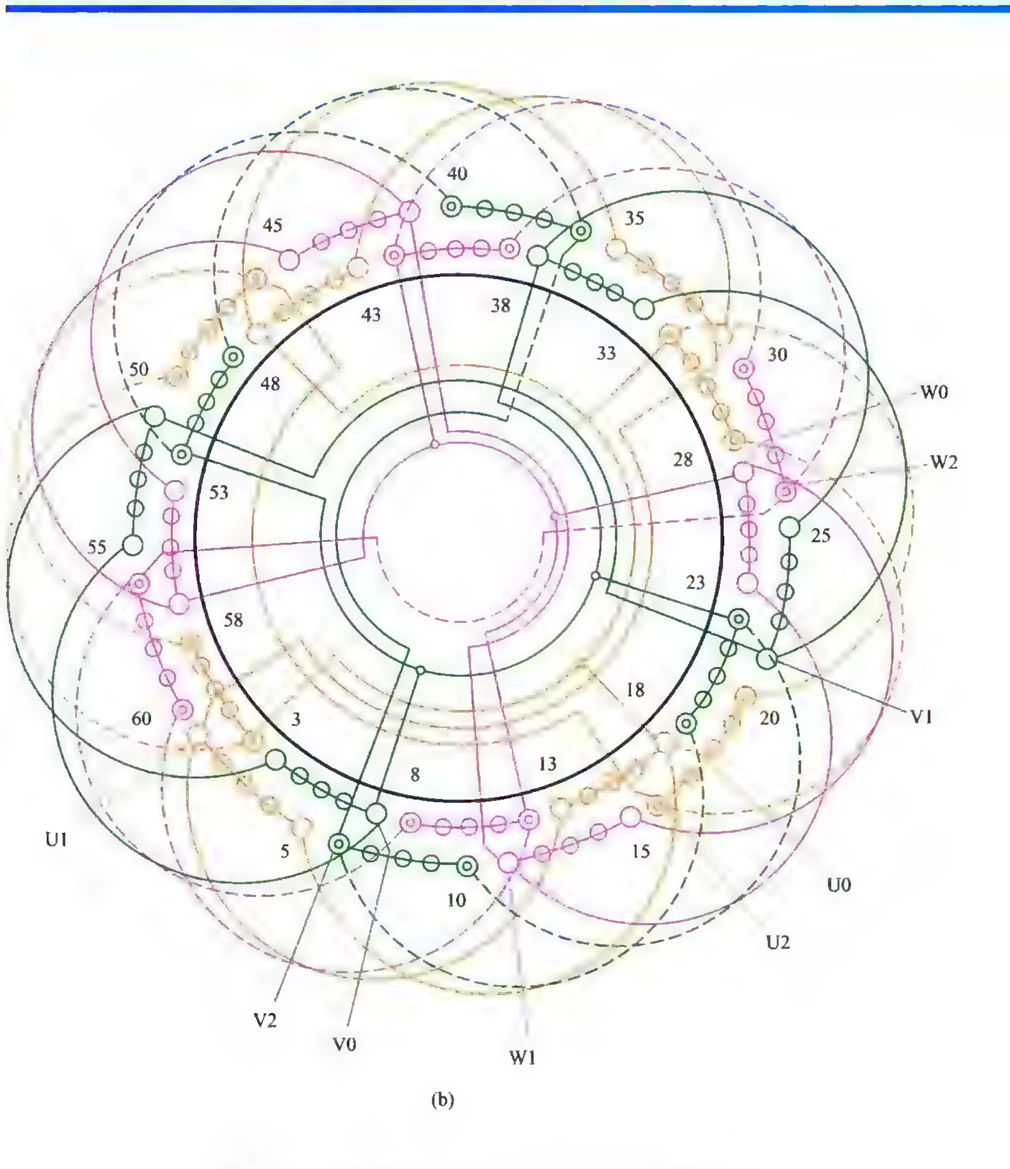
此绕组可用于老系列电动机，如 J2-91-4 等改绕；也可用于其他规格电动机改绕，但若节距不同时，则要进行换算。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-9（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-9　60 槽 4 极（$y=12$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.9 60槽4极（$y=12$、$a=4$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

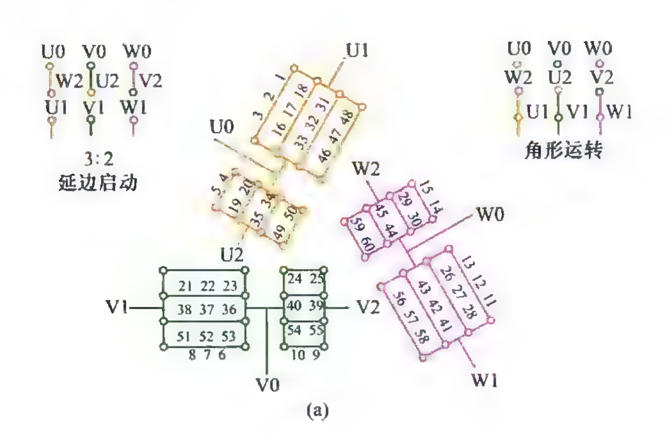
定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=60$	每组圈数	$S=3$、2
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=12$	绕组系数	$K_{dp}=0.91$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=3:2$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K \approx 0.455 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

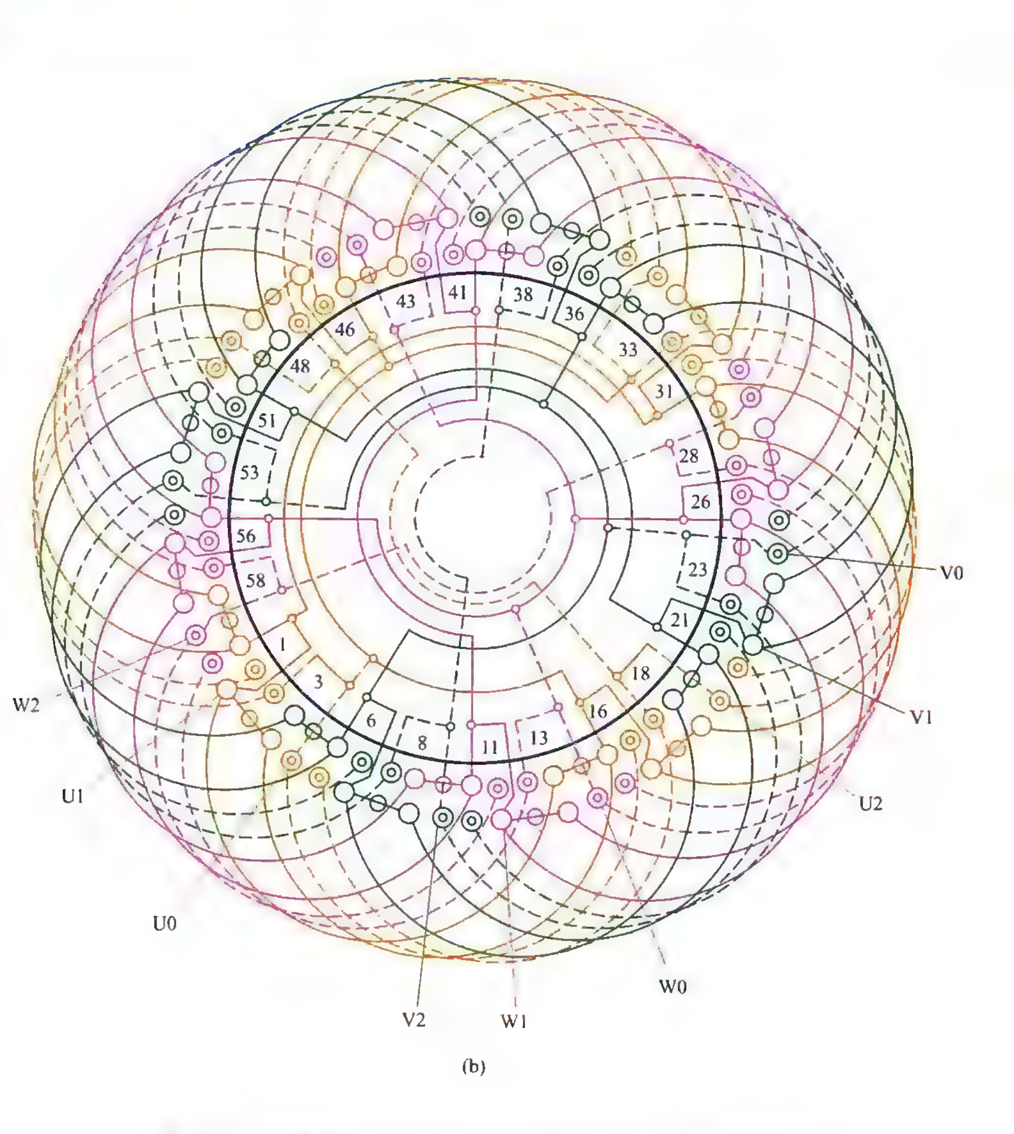
本绕组是3∶2抽头，绕组结构特点与图1-8基本相同，即采用分裂法安排延边段和角形段。延边段每极相为3圈；角形段每极相2圈，分别按一正一反将4极线圈组并联。绕组线圈组数多，接线烦琐，但若嫌启动转矩不足时，可按图1-1下方端接，使延边抽头改为2∶3，可使启动转矩提高约18%，但启动电流也会相应增加，即 $I_K \approx 0.556 I_{KD}$。此绕组可用于老系列JO2-93-4、JO2L-91-4等改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-10（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图1-10　60槽4极（$y=12$、$a=4$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.10　60槽4极（$y=13$、$a=4$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

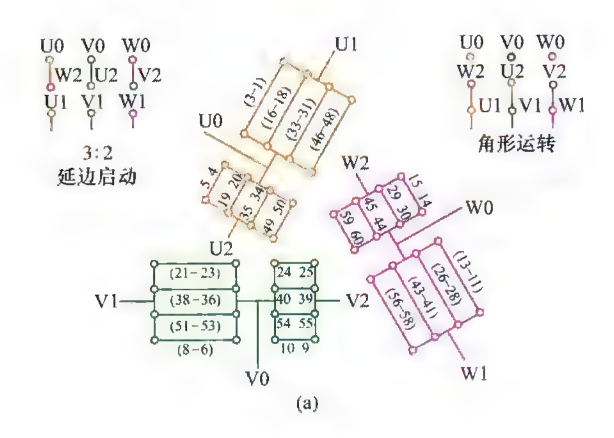
定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=60$	每组圈数	$S=3$、2
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=13$	绕组系数	$K_{dp}=0.936$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=3:2$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K\approx0.455I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

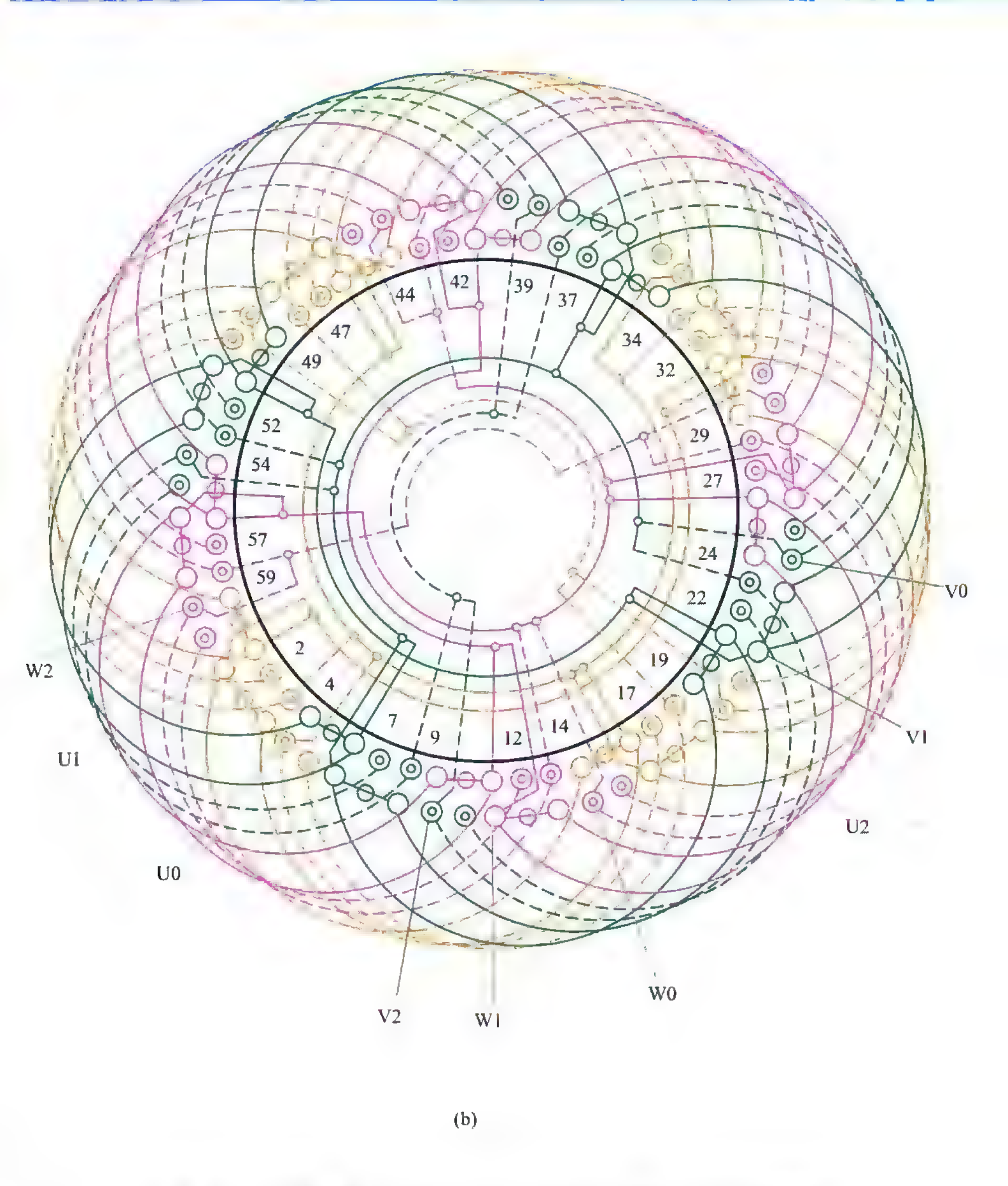
本例也是3∶2抽头，绕组结构与上例相同，也是用分裂法安排延边段和角形段，也采用4路并联，但线圈节距增长1槽，绕组系数略有提高，而嵌线吊边数也增1槽。同样，此绕组可改换成2∶3抽头，改接可参照图1-1下方端子图。改接后启动电流和启动转矩都会有所改变，即启动电流约为$I_K\approx0.556I_{KD}$，启动转矩也相应增加。此绕组适用于新系列Y280S-4及其他相应规格电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-11（a）、（b）所示。



（a）



(b)

图 1-11　60 槽 4 极（$y=13$、$a=4$）3∶2（或 2∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.11 54槽6极（$y=8$、$a=2$）1∶2（或2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

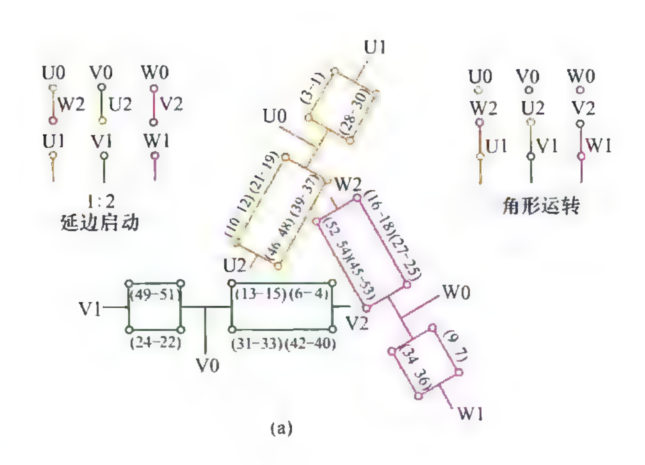
定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=54$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=18$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.6I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

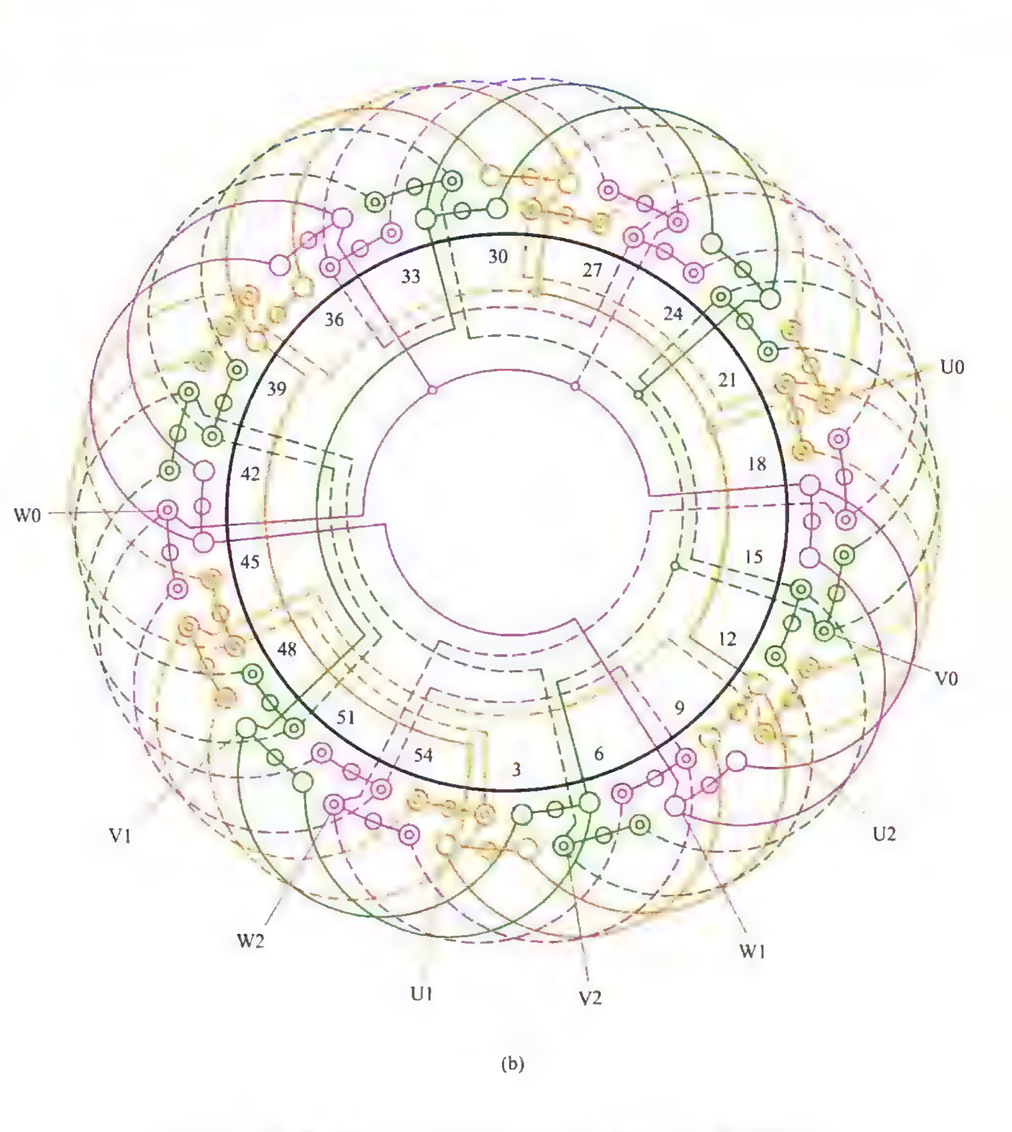
本例是6极绕组，定子54槽，每极相线圈数为3。将每相线圈组分成对称的两组（3圈组）作延边段；另4组也对称组成角形段，从而构成对称分布的1∶2抽头的延边启动绕组，如图1-12（a）所示。此外，本绕组还可反比例用作2∶1抽头启动。这对可将绕组端接图改接如图1-1下方，则启动电流可降至约$I_K\approx0.43I_{KD}$，而启动转矩也相应降低。本绕组主要用于Y200L2-6、Y2-180L-6等系列电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-12（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-12　54 槽 6 极（$y=8$、$a=2$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.12 54 槽 6 极（$y=8$、$a=3$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

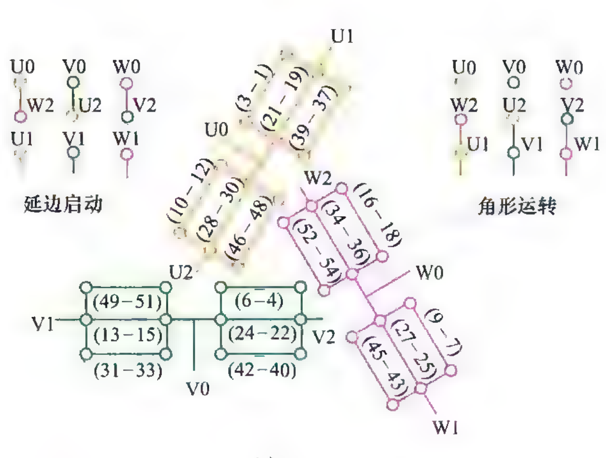
定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=54$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=18$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=8$	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=3$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

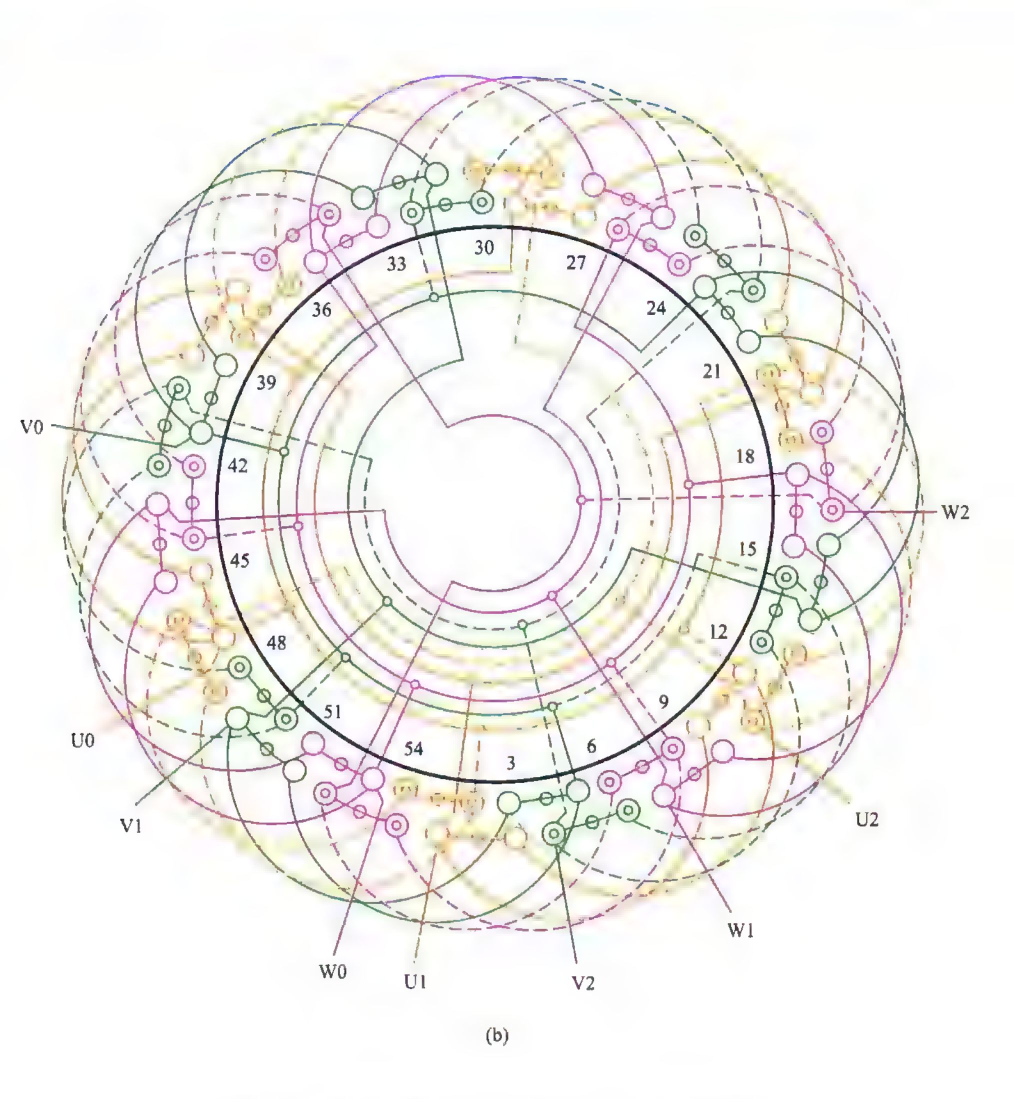
本例绕组每组由 3 只线圈组成，每相 6 组线圈分成两段，因 $a=3$，故每段分为三路，即每支路均为一组线圈，而且使每段上的线圈组呈三角对称分布。此外，由于 6 极绕组显极布线时极性正反交替，刚好使延边段三组并联线圈为正极性，而角形段则全部反极性，故接线时可对照两图进行。此绕组主要应用于 Y2-225M-6 等电动机改绕延边启动绕组。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-13（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-13 54 槽 6 极（$y=8$、$a=3$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.13 54槽8极（$y=6$、$a=2$）4∶5（或5∶4）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=54$	每组圈数	$S=2、3$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=26.67°$
线圈节距	$y=6$	绕组系数	$K_{dp}=0.941$
绕组极距	$\tau=6\frac{3}{4}$	抽头比例	$\beta=4:5$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.53 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

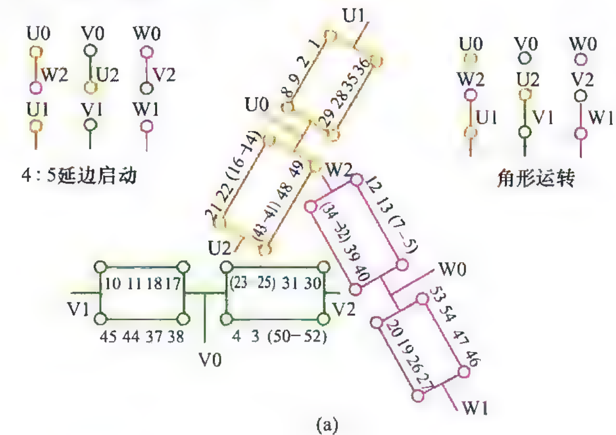
（2）绕组布接线特点及应用举例

本例绕组每极相槽数 $q=2\frac{1}{4}$，属分数绕组，故线圈组为3、2圈交替轮换安排在定子，并按2、2、3、2规律循环分布。每槽电角 $\alpha=26\frac{2}{3}°$。三相进线不能满足120°电角互差，但本例选择近240°进线，可使三相互差相同，而且能使每相线圈分布安排的规律相同。由于 S 为分数，很难实施1∶1抽头，故改绕选用对称分布法4∶5抽头，即延边段分两路，每支路由正、反两个双圈组构成；三角形段也分两路，每支路则由双圈和3圈组串联而成，但支路两组线圈极性相反。此外，绕组也可按图1-1下方的端子接线作反比例5∶4抽头启动，这时启动电流 $I_K \approx 0.47 I_{KD}$，但启动转矩也相应减小。

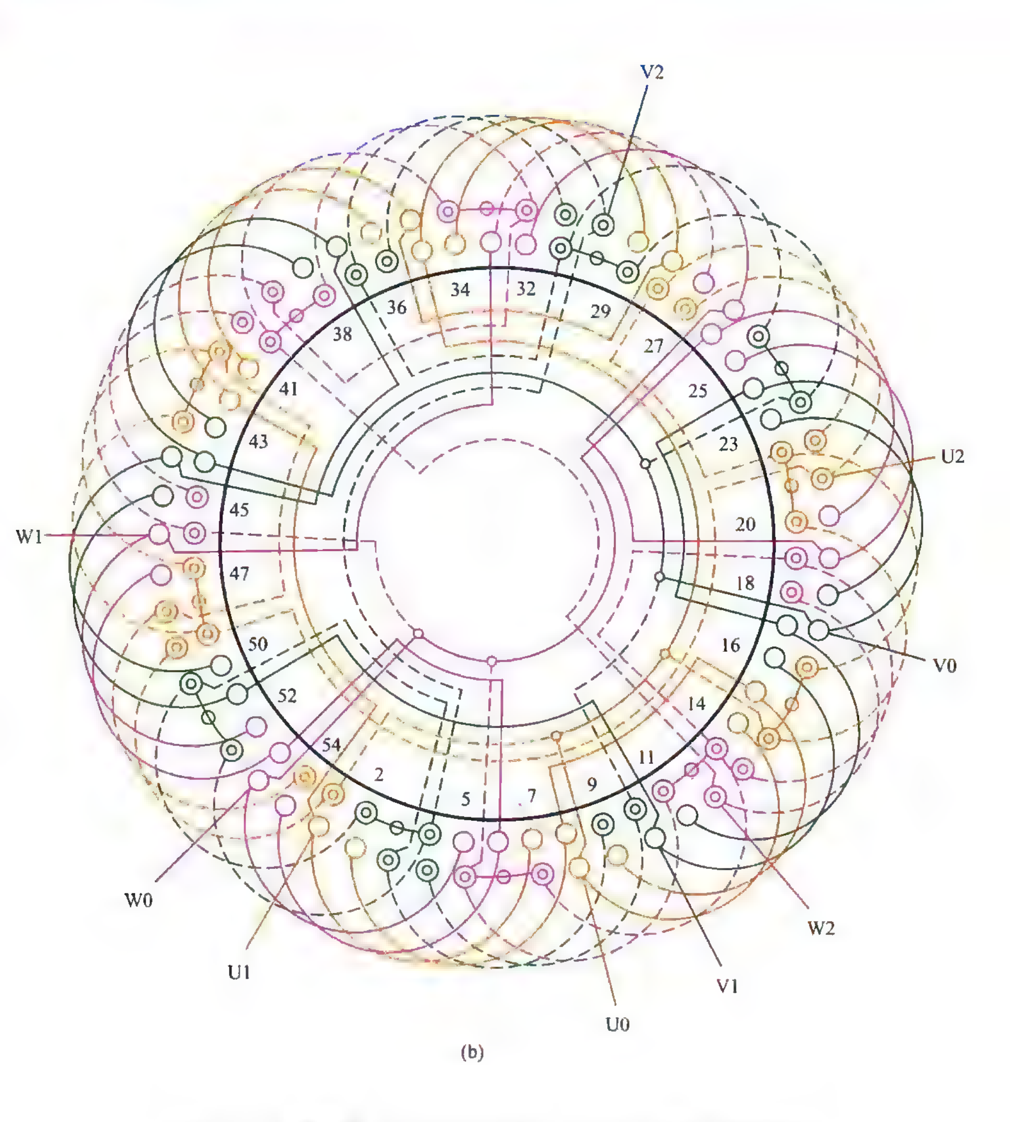
本例主要应用于Y200L-8等系列电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-14（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图1-14　54槽8极（$y=6$、$a=2$）4∶5（或5∶4）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.14　48槽2极（$y=14$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

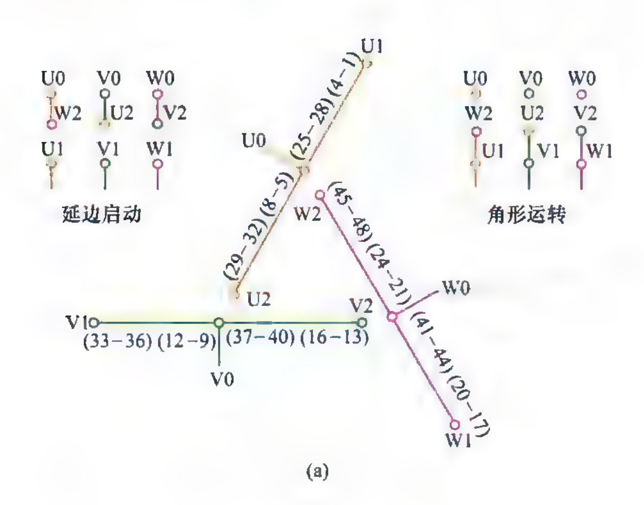
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=4$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=7.5°$
线圈节距	$y=14$	绕组系数	$K_{dp}=0.758$
绕组极距	$\tau=24$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

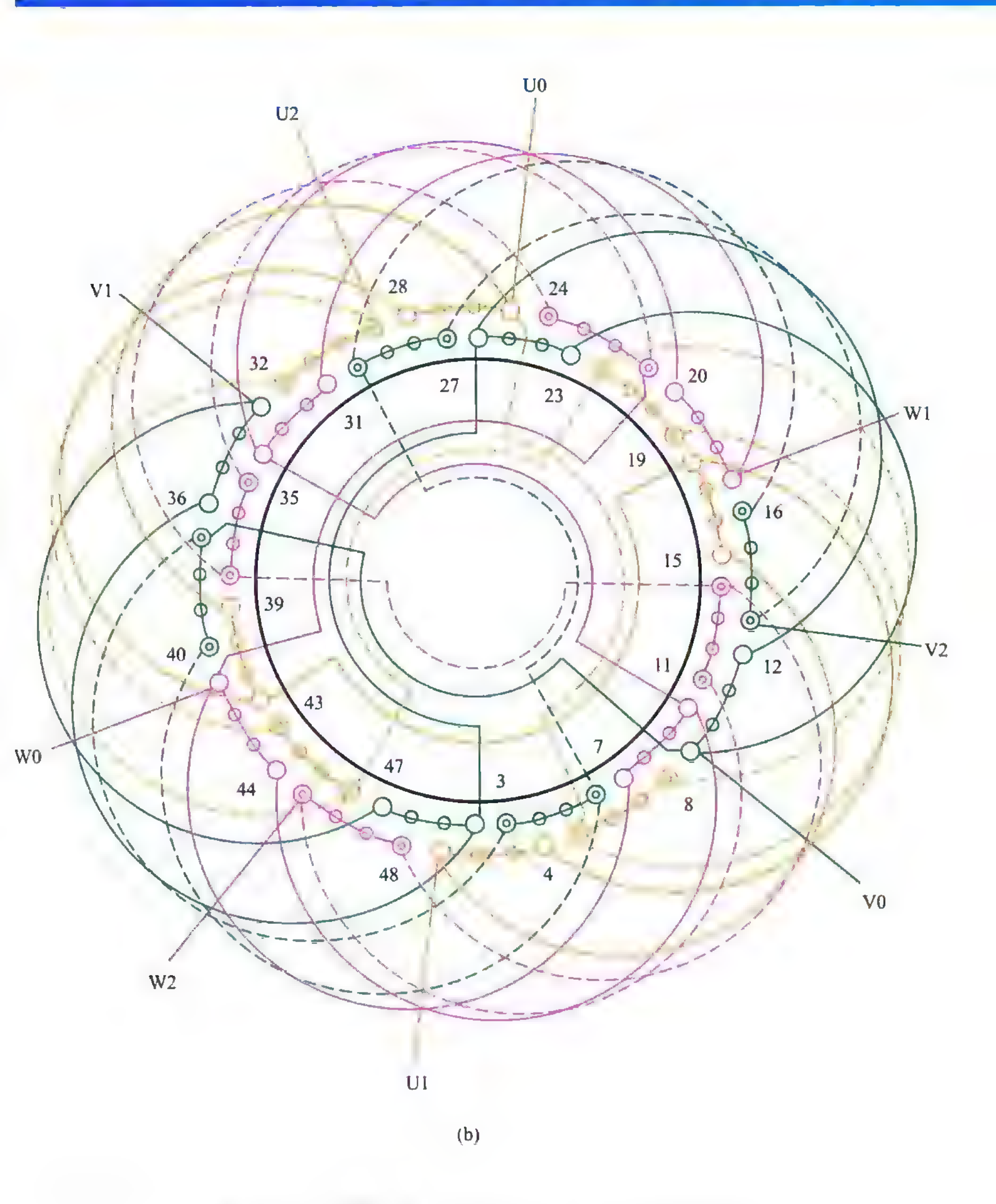
本例是1∶1抽头，绕组采用极相线圈分裂法分布线圈，即每极相8只线圈分成2组，每组有4只线圈；而每相由延边和角形两部分串成，每部分都有2组线圈，并按一正一反串联而成。48槽2极电机应用较少，故本绕组应用于部分厂家生产的Y250M-2电动机的改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-15(a)、(b)所示。



(a)



(b)

图 1-15　48 槽 2 极（$y=14$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.15 48槽2极（$y=14$、$a=2$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

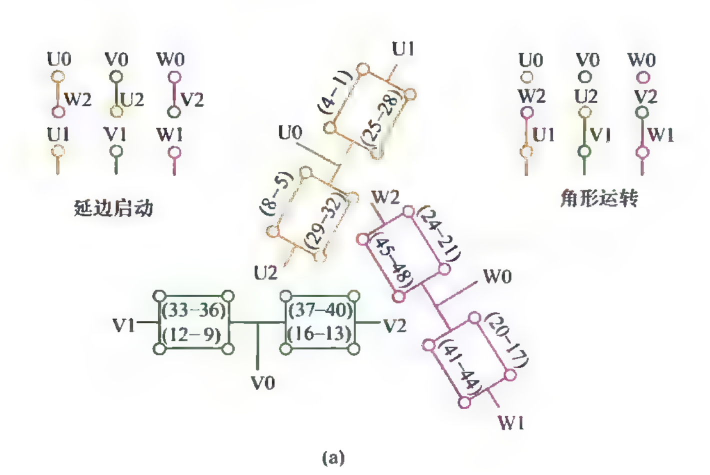
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=4$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=7.5°$
线圈节距	$y=14$	绕组系数	$K_{dp}=0.758$
绕组极距	$\tau=24$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

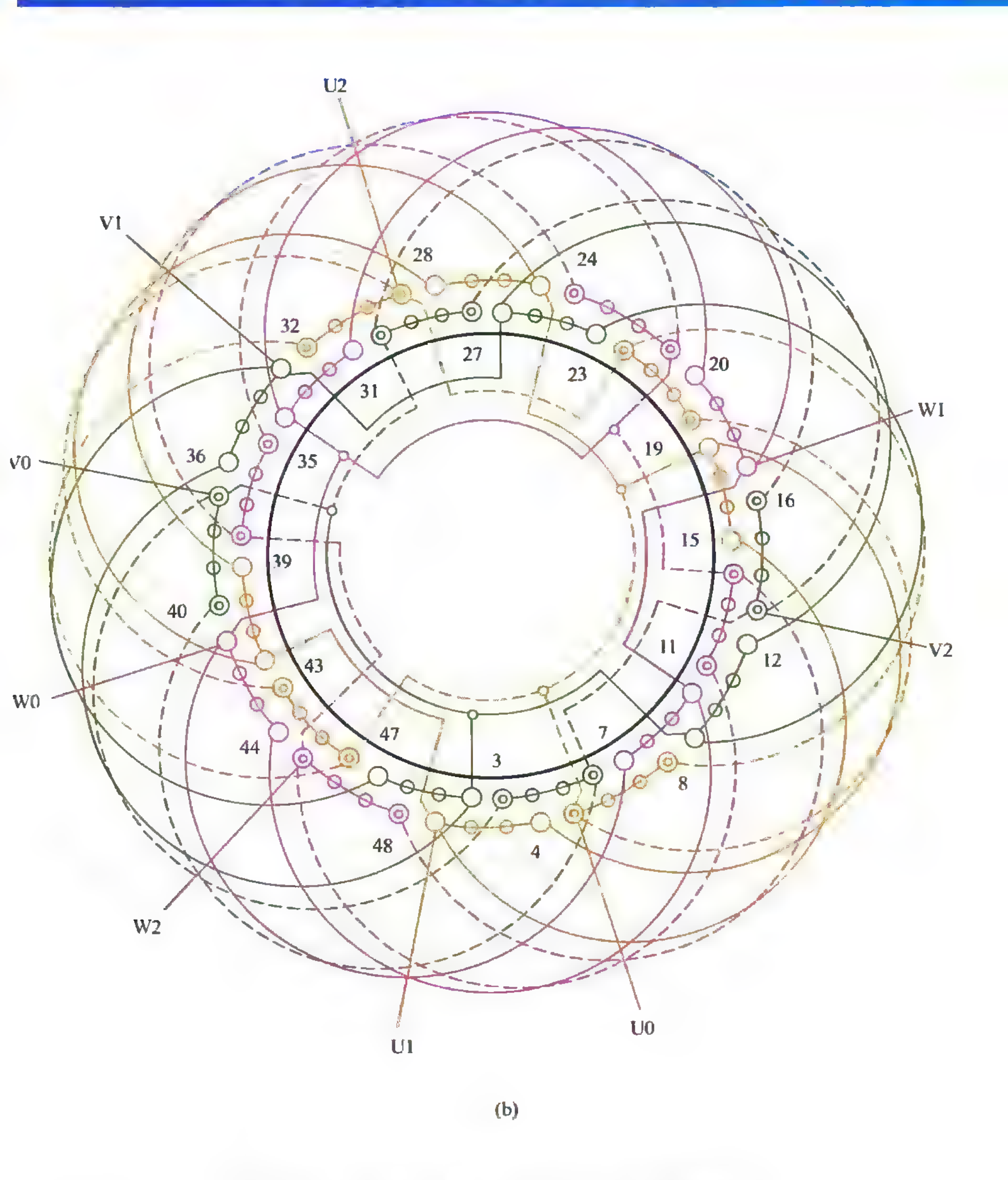
48槽2极电动机每极相占8槽，若采用1∶1抽头，可将每极相线圈平均分为二组，即每组4圈，并使两极中对称的线圈组按相反极性接成并联组，即分别成为延边并联组和角形并联组，如图1-16（a）所示。本绕组主要应用于Y200L1-2、JO2-82-2等48槽2极电动机改绕延边启动绕组。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-16（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-16　48 槽 2 极（$y=14$、$a=2$）1：1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.16 48槽4极($y=10$、$a=2$)1:1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

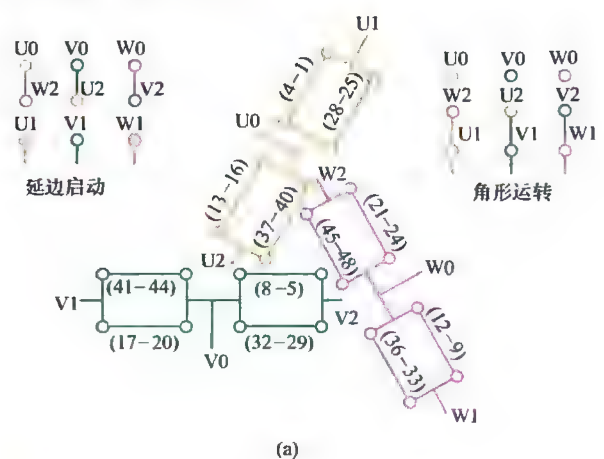
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=4$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=15°$
线圈节距	$y=10$	绕组系数	$K_{dp}=0.92$
绕组极距	$\tau=12$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

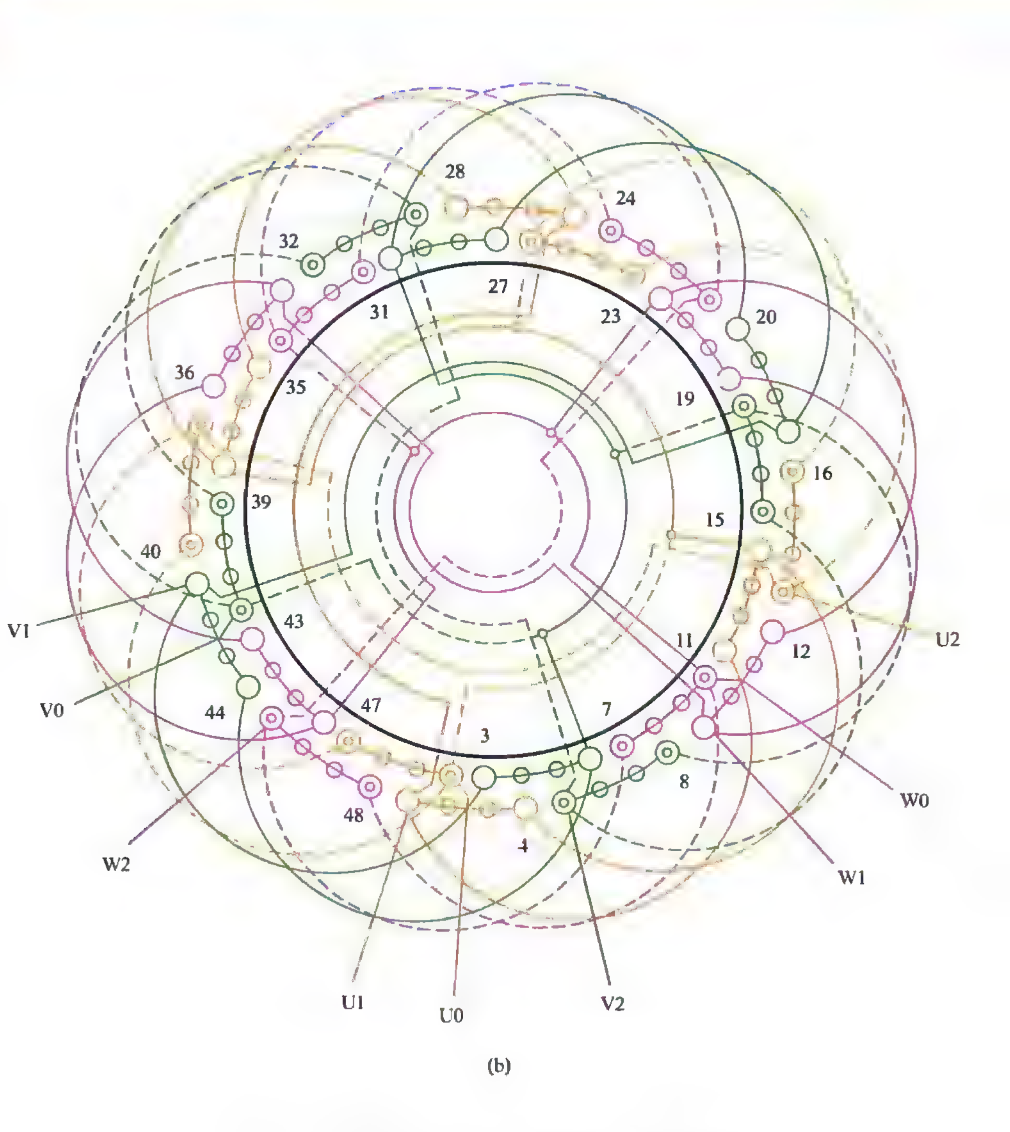
本例是4极电动机,每相由4组线圈对称分布,采用两路并联改绕延边启动绕组,可将原对称的两组同极性线圈组分别置于延边段和角形段,这样就可避免把原线圈组分裂的做法。如本例中,可将同极性的对称线圈组(4—1)和(28—25)并联安排作延边段;再把反极性的对称两组(13—16)和(37—40)安排为角形段,从而构成U相绕组,如图1-17(a)所示。其余V、W两相类推。本绕组主要应用于Y180M-4、Y2-200L-4等电动机改绕延边启动绕组。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-17(a)、(b)所示。



(a)



(b)

图 1-17 48 槽 4 极（$y=10$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.17　48 槽 4 极（$y=11$、$a=4$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

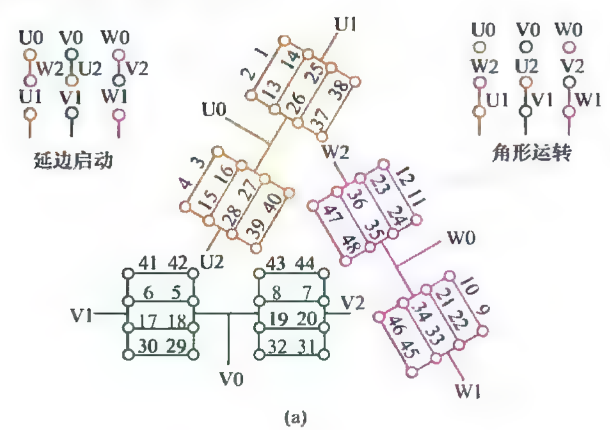
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=2$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=15°$
线圈节距	$y=11$	绕组系数	$K_{dp}=0.92$
绕组极距	$\tau=12$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=4$	启动电流	$I_K \approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

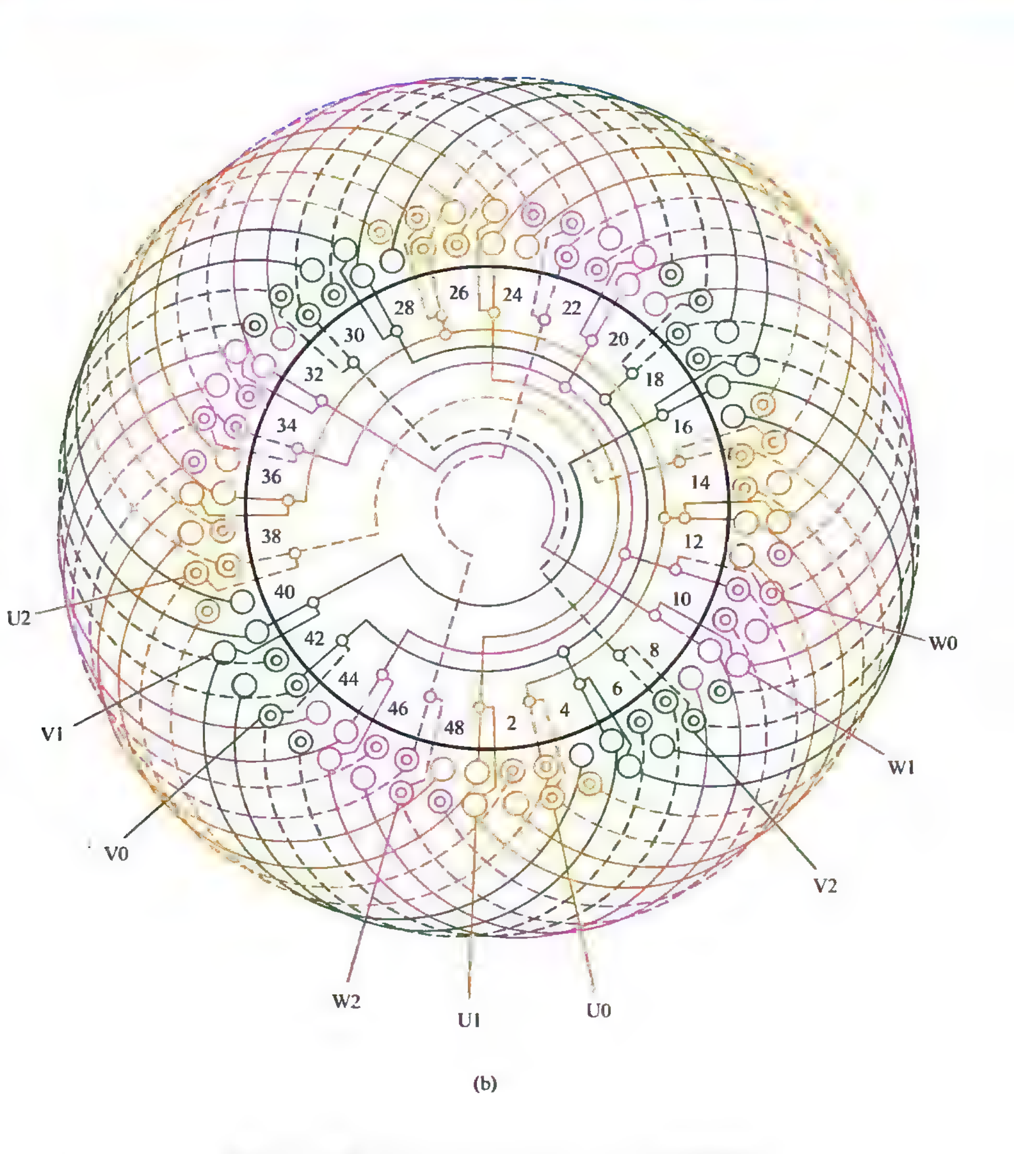
本例绕组是 48 槽 4 极，每极相线圈数为 4，由于采用四路并联，在常规接线中是把每相中的一组（4 只线圈）构成一支路。今若改绕选对称分布法则每相要分两段，每段仅两组线圈不能分作四路来满足对称条件。为此，必须选用极相分裂法，把每极相线圈分裂为两组，即每组两圈，这时每相就有 8 组，则每段 4 组便可分为 4 个并联支路，如图 1-18（a）所示。本例绕组适宜三相系列 Y250M-4、Y2-225S-4 等电动机改绕延边三角形绕组。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-18（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图1 18　48槽4极（$y=11$、$a=4$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.1.18　48 槽 8 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式（分裂）布线

（1）绕组结构参数

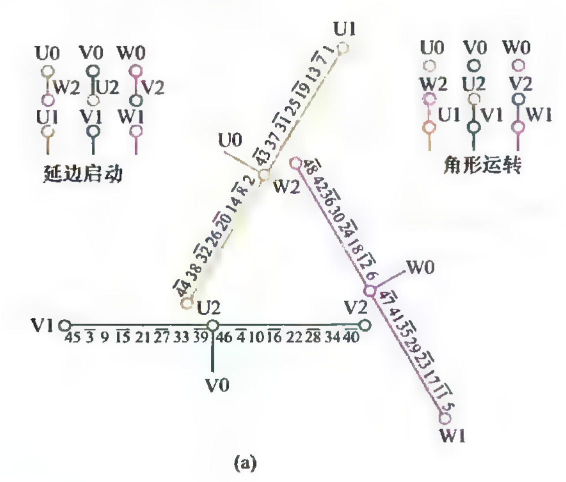
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=1$
线圈组数	$u=48$	每槽电角	$\alpha=30°$
线圈节距	$y=5$	绕组系数	$K_{dp}=0.933$
绕组极距	$\tau=6$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

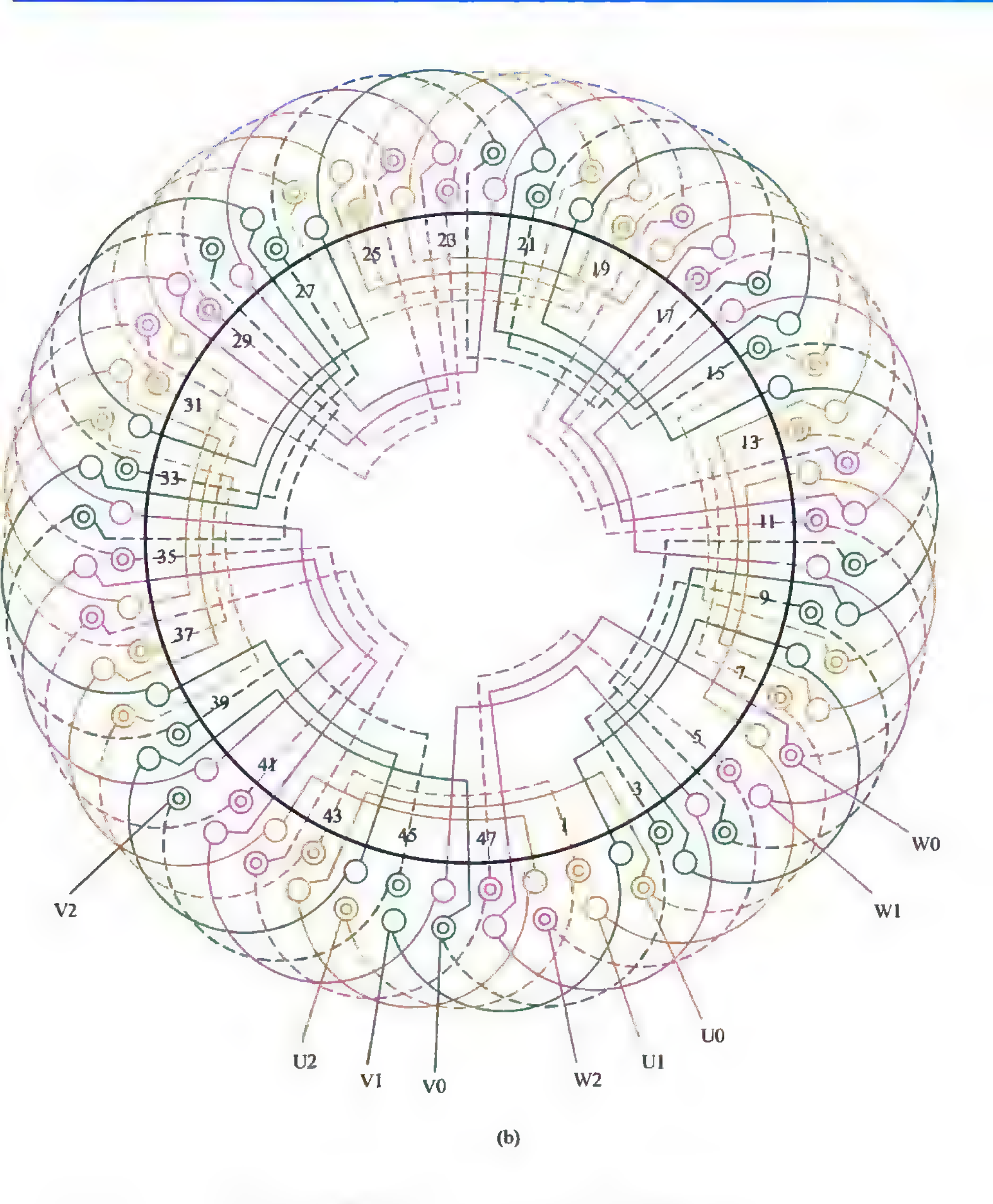
本例 48 槽 8 极改绕延边三角形启动绕组时，只能选用 1∶1 抽头，但可用单层或双层布线；而且，双层叠式布线时，又可有两种极相线圈组分布形式，而本绕组是将 2 圈的极相组分裂成 2 组，即每组仅 1 圈，即 1 圈仍在角形段，另 1 圈则置于延边段。这种改绕使总线圈组数增加一倍，从而使绕组的接线变得烦琐，工艺性也差，故宜慎用。本绕组可用于 JO3L-180M-8 电动机或 Y160M2-8 单链绕组改双叠延边启动绕组。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-19（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-19　48 槽 8 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式（分裂）布线

1.1.19 48 槽 8 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式（对称）布线

(1) 绕组结构参数

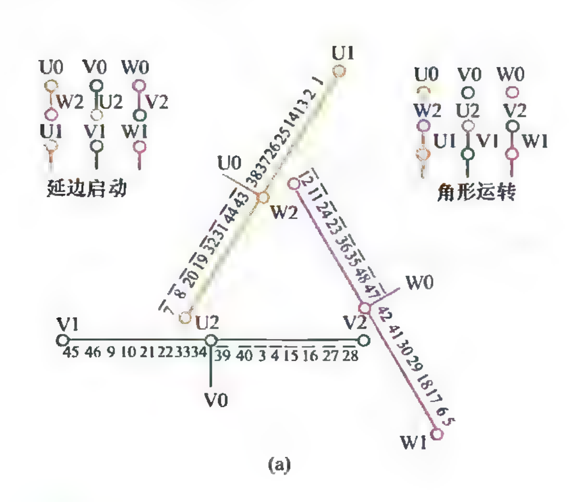
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=2$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=30^\circ$
线圈节距	$y=5$	绕组系数	$K_{dp}=0.933$
绕组极距	$\tau=6$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K\approx0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

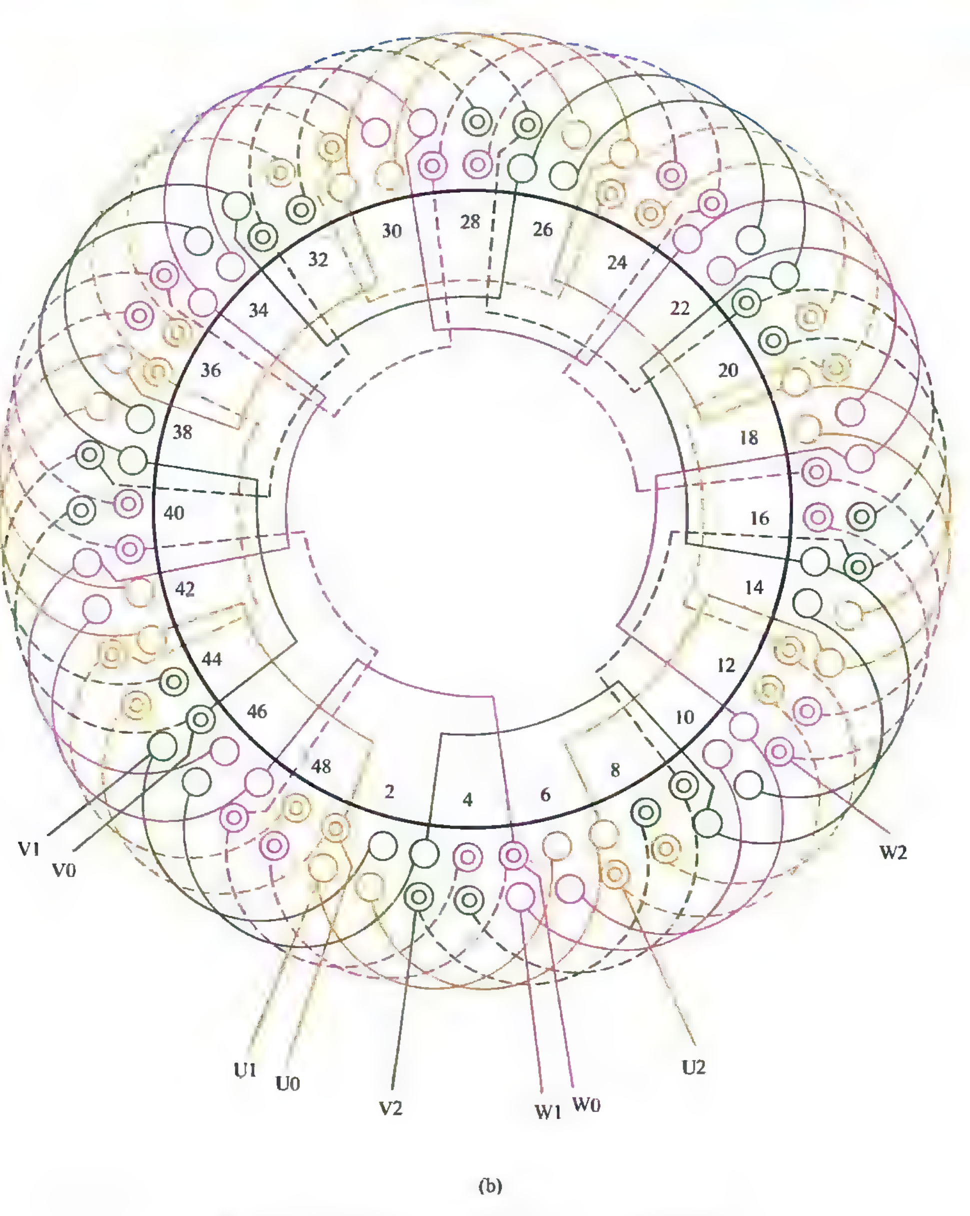
本规格电机除可用上例改绕延边启动外，还可按本例改为双层叠式（对称）布线，即不改变原来线圈组结构，每组仍由双圈组成；每相 8 组分成两段接线，其中延边段 4 组均为正极性，且对称分布于定子，接线时按逆时针方向走线；角形段 4 组反极性并顺时针方向走线。本例适用 JO-62-8 等电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图 1-20（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-20　48 槽 8 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式（对称）布线

1.1.20 48槽8极（$y=5$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组单层链式布线

(1) 绕组结构参数

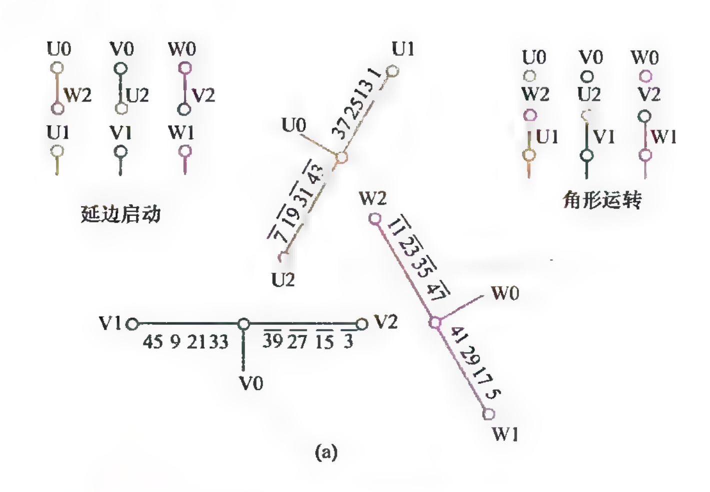
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=24$	每组圈数	$S=1$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=30°$
线圈节距	$y=5$	绕组系数	$K_{dp}=0.966$
绕组极距	$\tau=6$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

本例绕组规格与前二例相同，但采用单层布线。每相由8只线圈组成；延边启动的两段线圈间隔分布，其中延边段4只线圈为正极性，接线时逆向走线，顺接串联；角形段4只线圈为反极性，故应顺时向串联走线。本绕组适用于48槽8极小电机改绕，特别是单层链式绕组改绕延边启动绕组，如Y160M2-8、Y2-160L-8等改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-21 (a)、(b) 所示。



(a)

注：单层布线绕组以奇数槽为线圈号

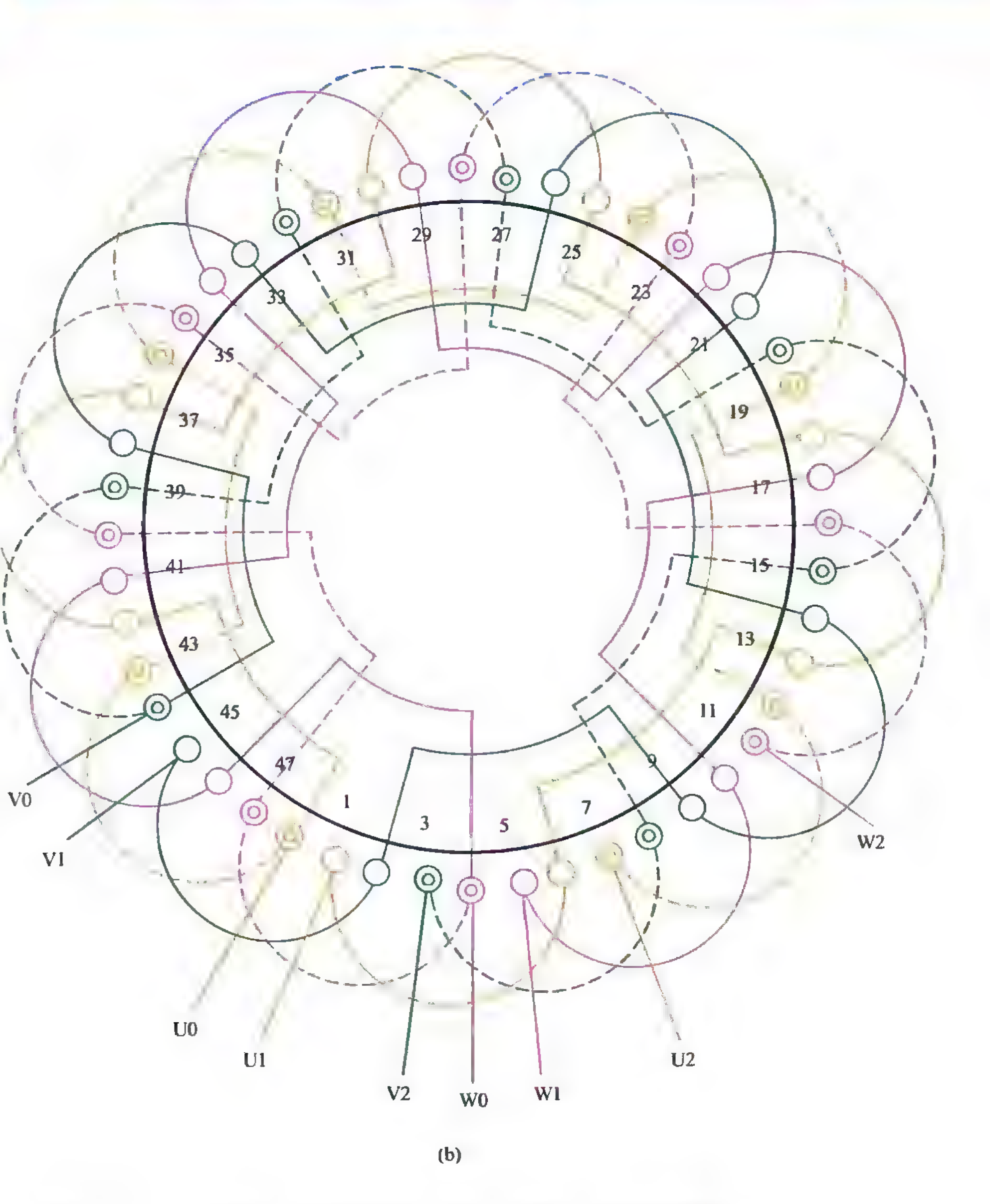


图 1-21　48 槽 8 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组单层链式布线

1.1.21 48 槽 8 极（$y=5$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

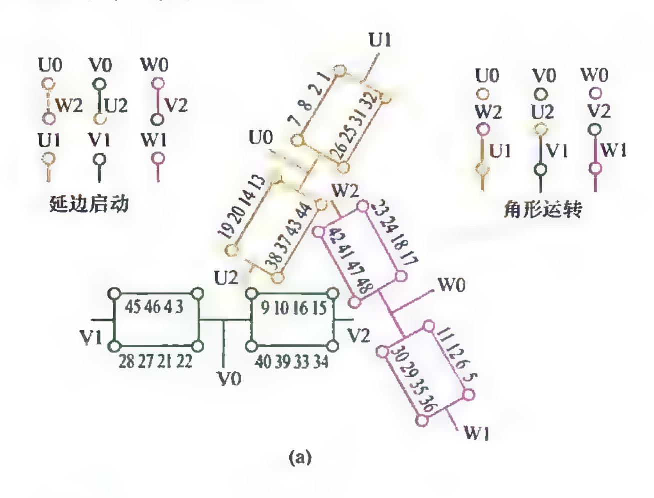
定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=48$	每组圈数	$S=2$
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=30°$
线圈节距	$y=5$	绕组系数	$K_{dp}=0.933$
绕组极距	$\tau=6$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

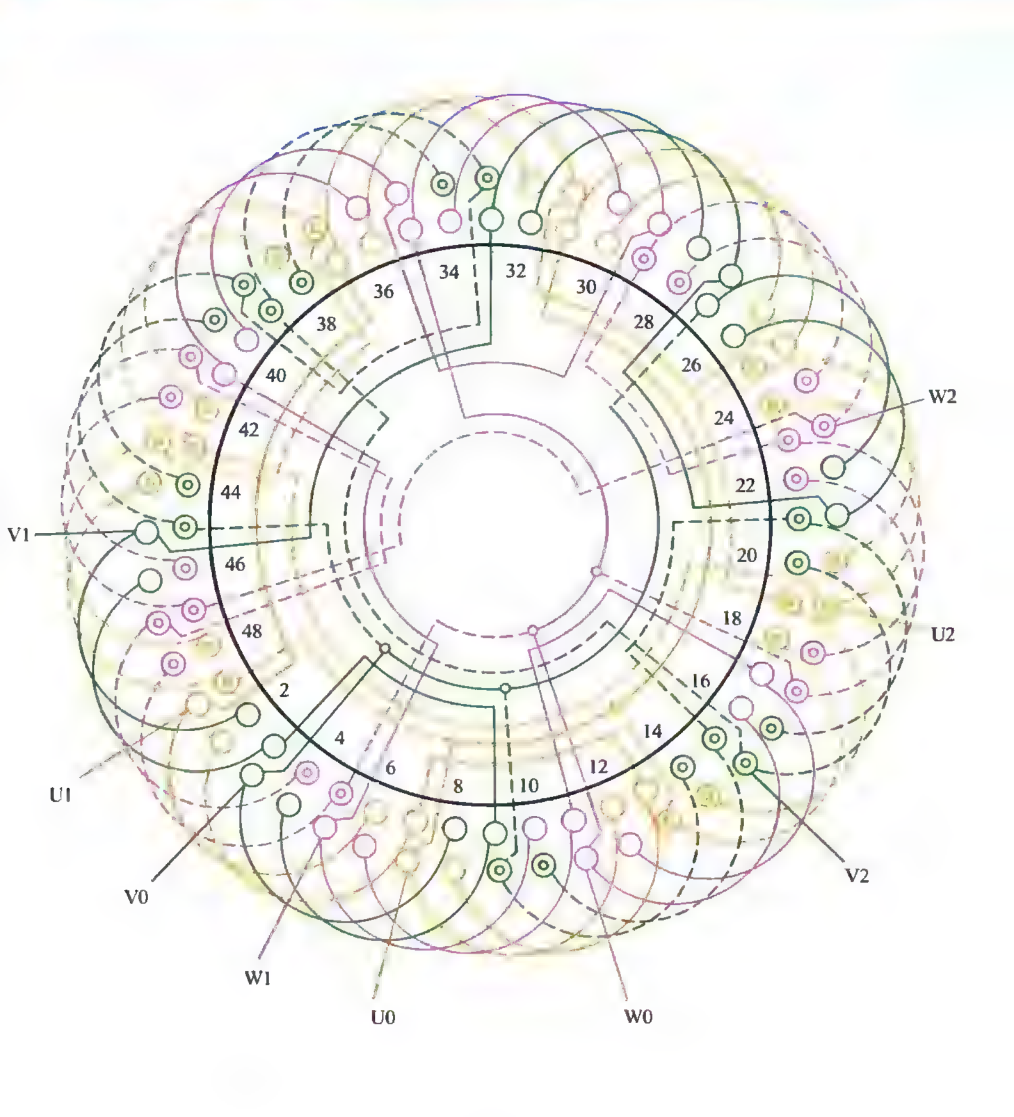
本例绕组结构与前例 19 基本相同，但采用二路并联，也是对称分布，每组也两只线圈，改绕 1∶1 延边绕组则每相分别可取正、反极性线圈组为两段，即 $a=2$ 时，每段由两支路组成，每支路包含两个双线圈组。因此，本绕组的延边段有 4 个正反极性线圈组；而角形段也有 4 个线圈组，也正反串并，从而各自构成对称磁极。本绕组是 Y2-180L-8 等系列电动机改绕延边启动绕组图例。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-22（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-22　48 槽 8 极（$y=5$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2 小容量电动机改绕延边三角形启动绕组端面布接线图

本节是小容量电动机改绕延边三角形启动绕组，主要包括42、36、30及24槽定子的电动机改绕。通常，容量稍大者常用双层叠式，而较小的则用单层布线。对双层绕组改绕的换算可参考上节；而单层相同型式的改绕，其改绕前后的线圈匝数不变；但若单层改绕双叠，则线圈匝数应由下式调整。

$$W_2=\frac{W_1K_{dp1}}{2K_{dp2}}(匝)$$

式中　W_2，W_1——(改绕后) 双层和 (改绕前) 单层线圈匝数；

K_{dp2}，K_{dp1}——双层、单层时的绕组系数。

本节收入延边启动绕组18例，其中双层布线11例，单层及单双层布线7例。

1.2.1 42槽2极 ($y=14$、$a=2$) 4∶3 (或3∶4) 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=42$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=42$	每组圈数	$S=4$、3
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=8.57°$
线圈节距	$y=14$	绕组系数	$K_{dp}=0.828$
绕组极距	$\tau=21$	抽头比例	$\beta=4:3$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.467I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

本绕组每极相槽数 $q=7$，即三相绕组每组有7只线圈，而二路并联时无法采用对称分布的延边抽头；且不能实施1∶1抽头，故用分裂法分布线圈，即将原极相线圈组分裂为4圈和3圈两组，从而构成4∶3抽头延边三角形。延边段由2个4圈组按一正一反并联；而角形段则是2个3圈组反极性并联。此绕组也可按图1-1下方端子改接构成3∶4抽头，这时，启动转矩会有所提高，但启动电流则相应增至 $I_K\approx0.538I_{KD}$。此绕组适用于老系列JO2-92-2、JO2L-91-2等规格电动机改绕延边启动。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-23 (a)、(b) 所示。

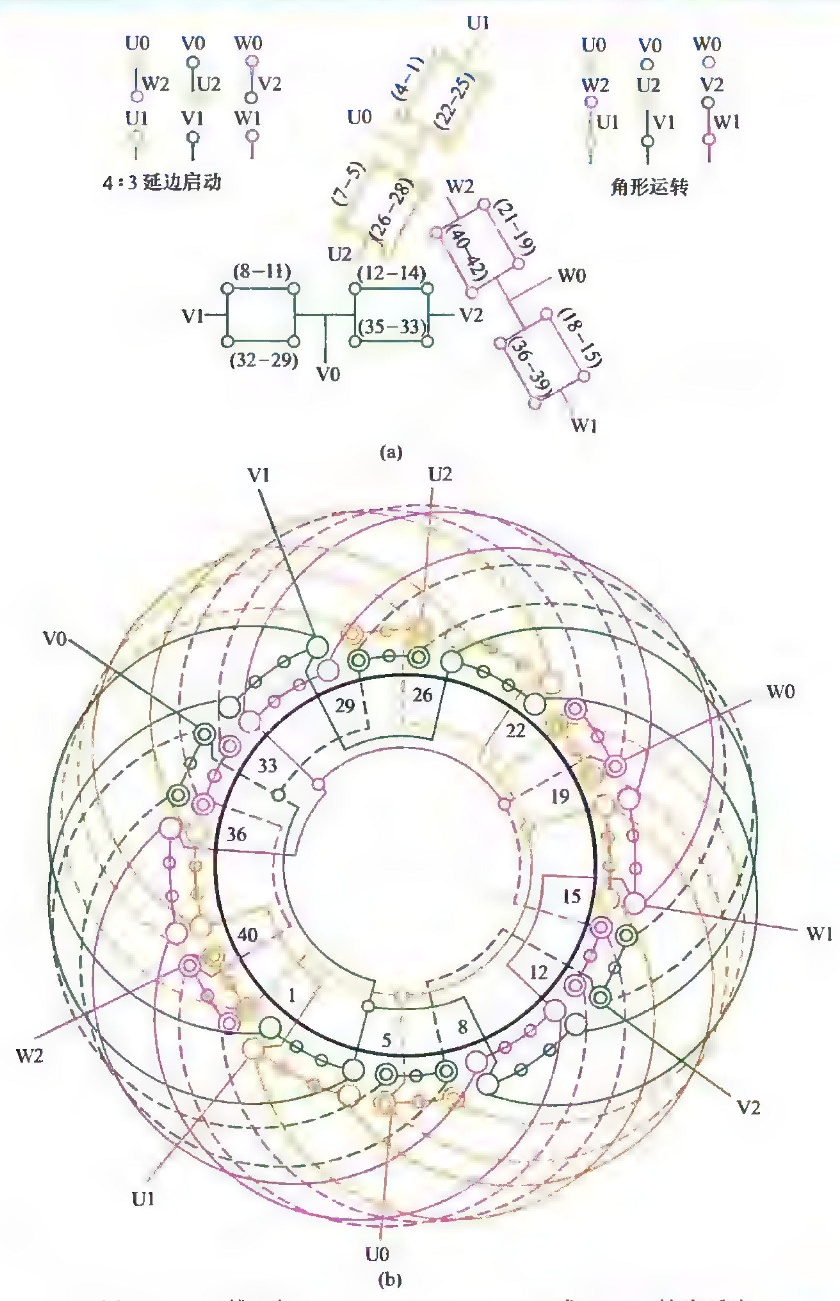


图 1-23　42 槽 2 极（$y=14$、$a=2$）4∶3（或 3∶4）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.2 42槽2极（$y=15$、$a=2$）3∶4（或4∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

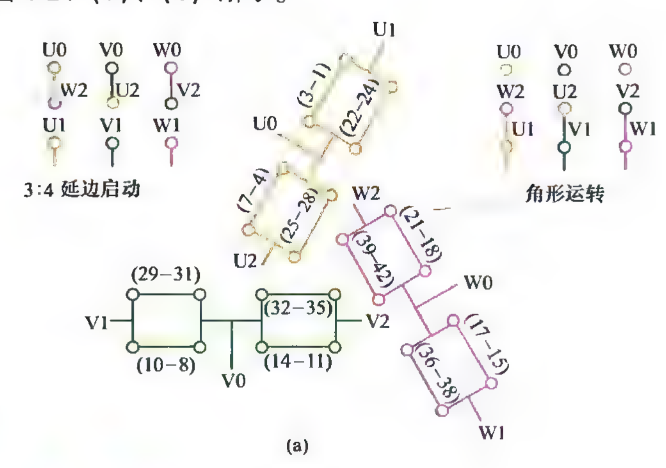
定子槽数	$Z=42$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=42$	每组圈数	$S=4$、3
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=8.57°$
线圈节距	$y=15$	绕组系数	$K_{dp}=0.864$
绕组极距	$\tau=21$	抽头比例	$\beta=3:4$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.538 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

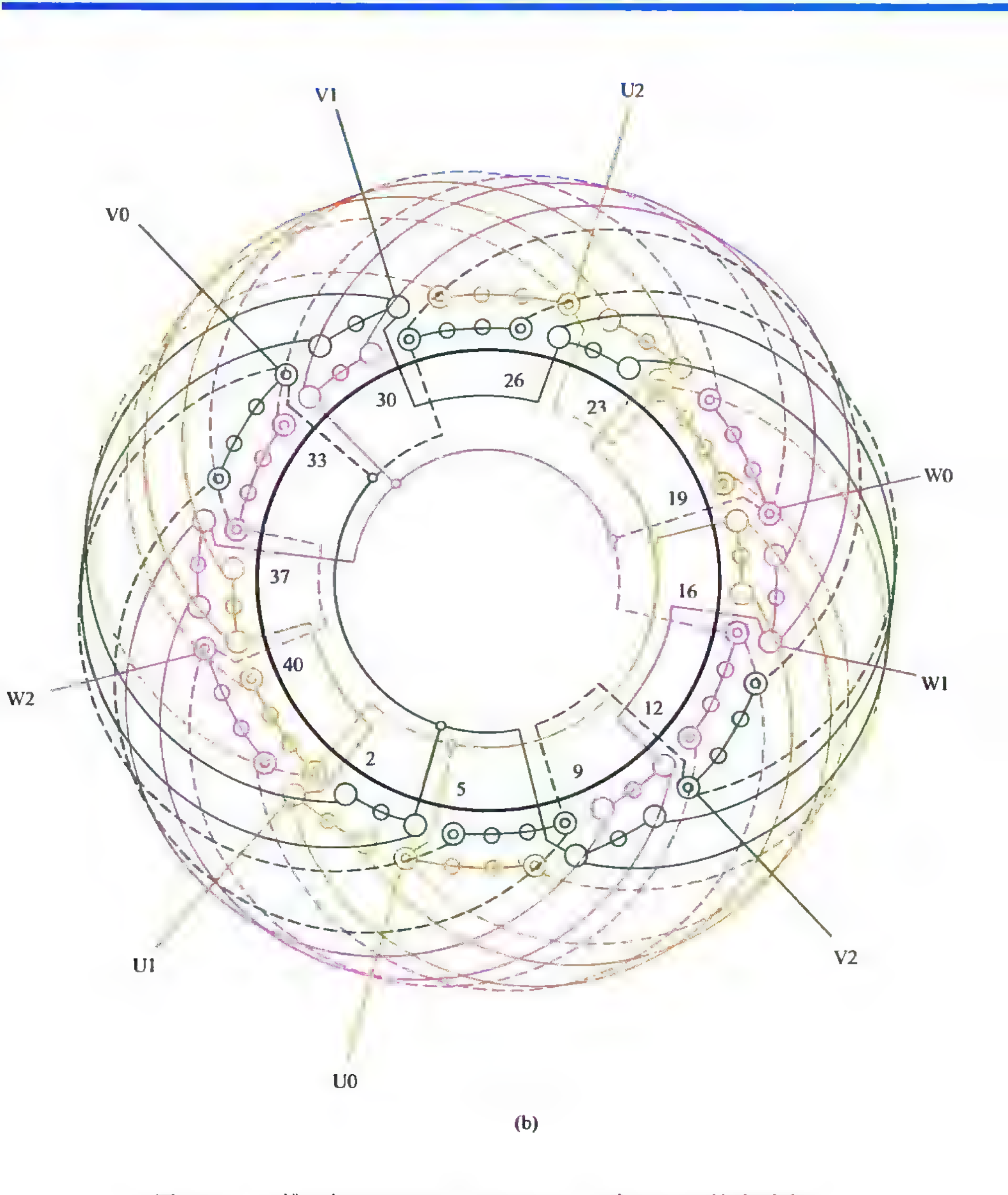
本例是42槽2极电动机，每极相7只线圈无法实现1∶1抽头，故取相近的3∶4抽头改绕，即延边为3圈组，三角形部分是4线圈组。绕组为两路并联，每相应由两个并联组构成，如图1-24 (a) 所示，延边组由两个3圈组并联；三角形组也是两组并联，但每组线圈数为4；此外，同一并联组中的两组线圈极性相反。此外，绕组也可按图1-1下方的端子接线作反比例4∶3抽头使用，这时启动电流 $I_K \approx 0.467 I_{KD}$。此绕组主要用于Y280S-2、Y2-280M-2等电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-24 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-24　42槽2极（$y=15$、$a=2$）3∶4（或4∶3）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.3 36槽2极（$y=13$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

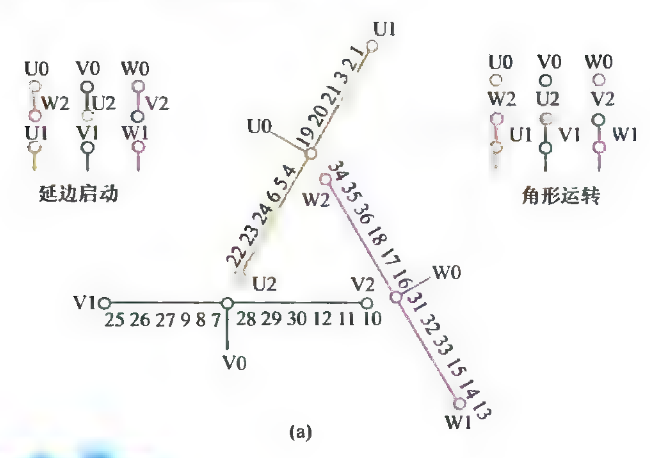
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=10°$
线圈节距	$y=13$	绕组系数	$K_{dp}=0.828$
绕组极距	$\tau=18$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

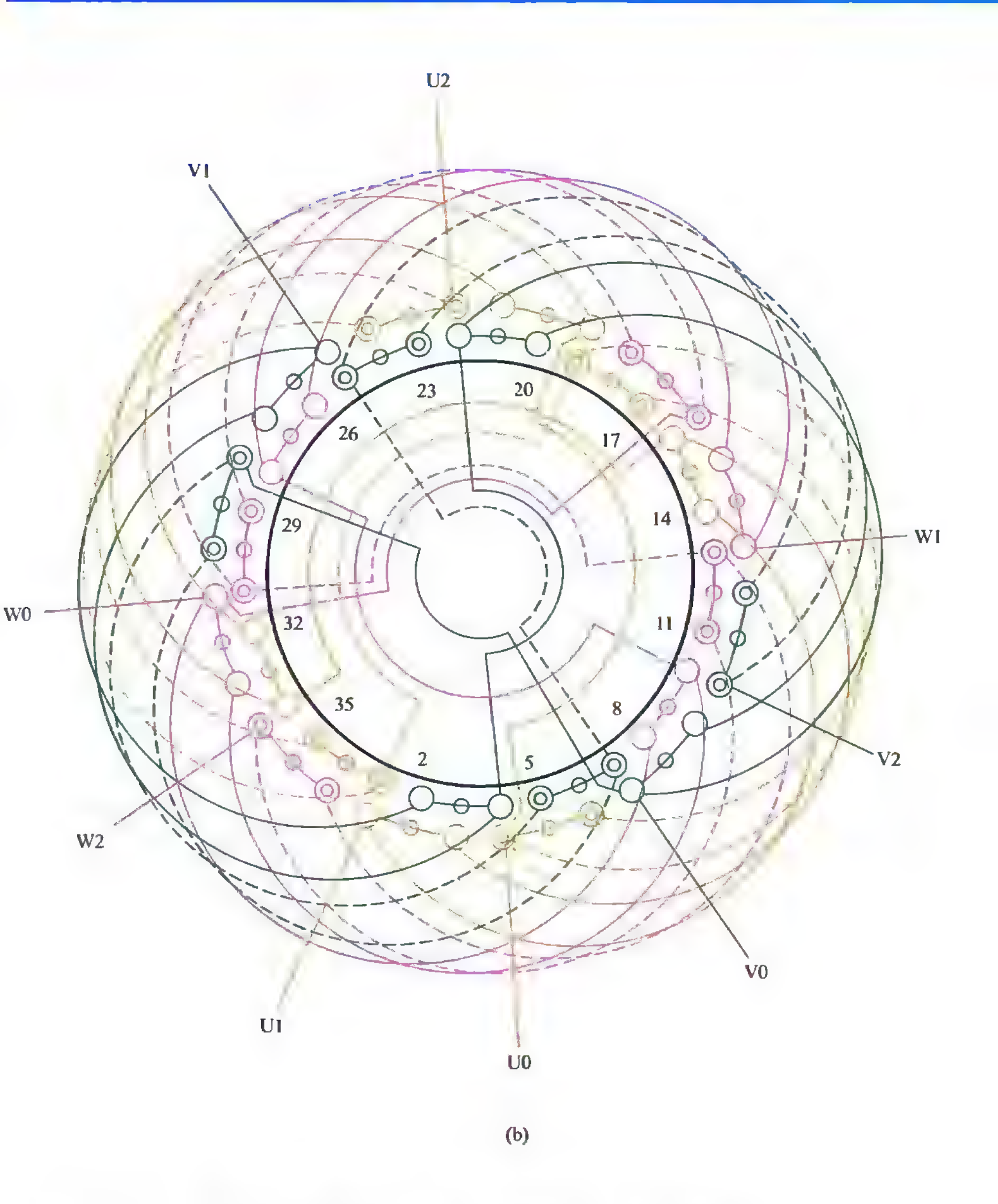
为使电动机运行平稳，本绕组特选较短的线圈节距以拓宽极面。绕组每极相占6槽，即每极相由6只线圈组成，为确保绕组磁极在改换接法时能保持对称，对每相只有一对磁极的2极电动机，宜用分裂法将原每极相组分成两个分组，而本例选用1∶1抽头，故每分组均为3圈。接线时要将两极中的对称分组线圈［如图1-25（a）中U相的1、2、3和21、20、19］安排在延边段；另一分组（4、5、6和24、23、22）安排在△形段。这样安排可使电动机无论启动或运行，都能保持磁路对称平衡，不致产生单边磁拉力现象。本例绕组适用于Y180M-2等36槽单路电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-25（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-25　36 槽 2 极（$y=13$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.4 36槽2极（$y=13$、$a=2$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

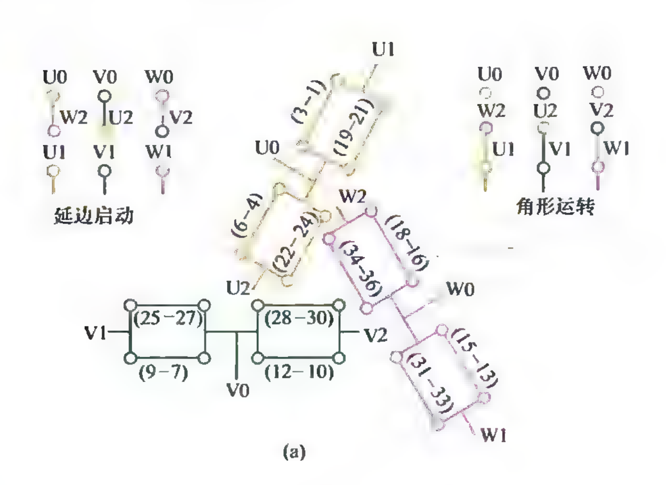
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=10°$
线圈节距	$y=13$	绕组系数	$K_{dp}=0.828$
绕组极距	$\tau=18$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

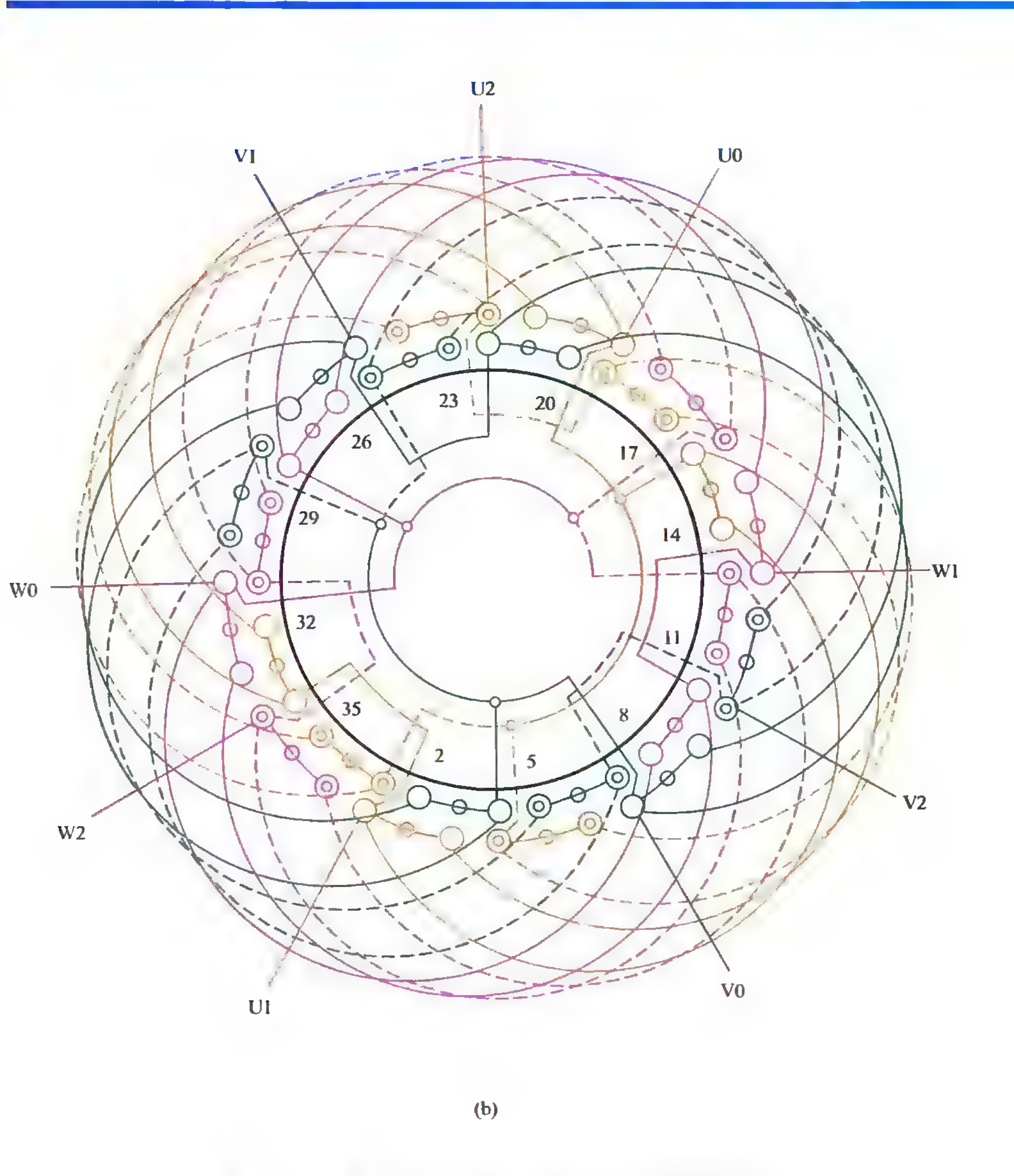
本绕组基本参数与上例相同，因是2极绕组，仍如上法将每极相圈数改为两个3圈组；因采用两路并联，故要求每一并联分路上的线圈数相等，如图1-26 (a) 所示。另外，接线时各线圈组仍应保持一般电动机绕组的极性要求，即使同一极的两个分组线圈极性相同。此绕组主要应用于Y200L2-2、Y2-225M-2等36槽两路并联的电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-26 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-26　36 槽 2 极（$y=13$、$a=2$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.5 36槽2极（$y=13$、$a=1$）1∶2（或2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

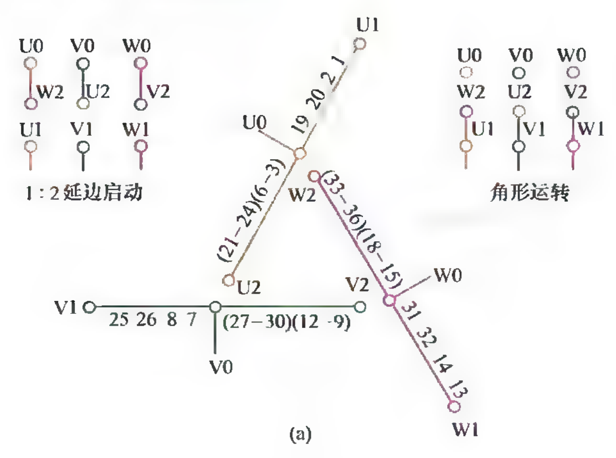
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=4、2$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=10°$
线圈节距	$y=13$	绕组系数	$K_{dp}=0.828$
绕组极距	$\tau=18$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

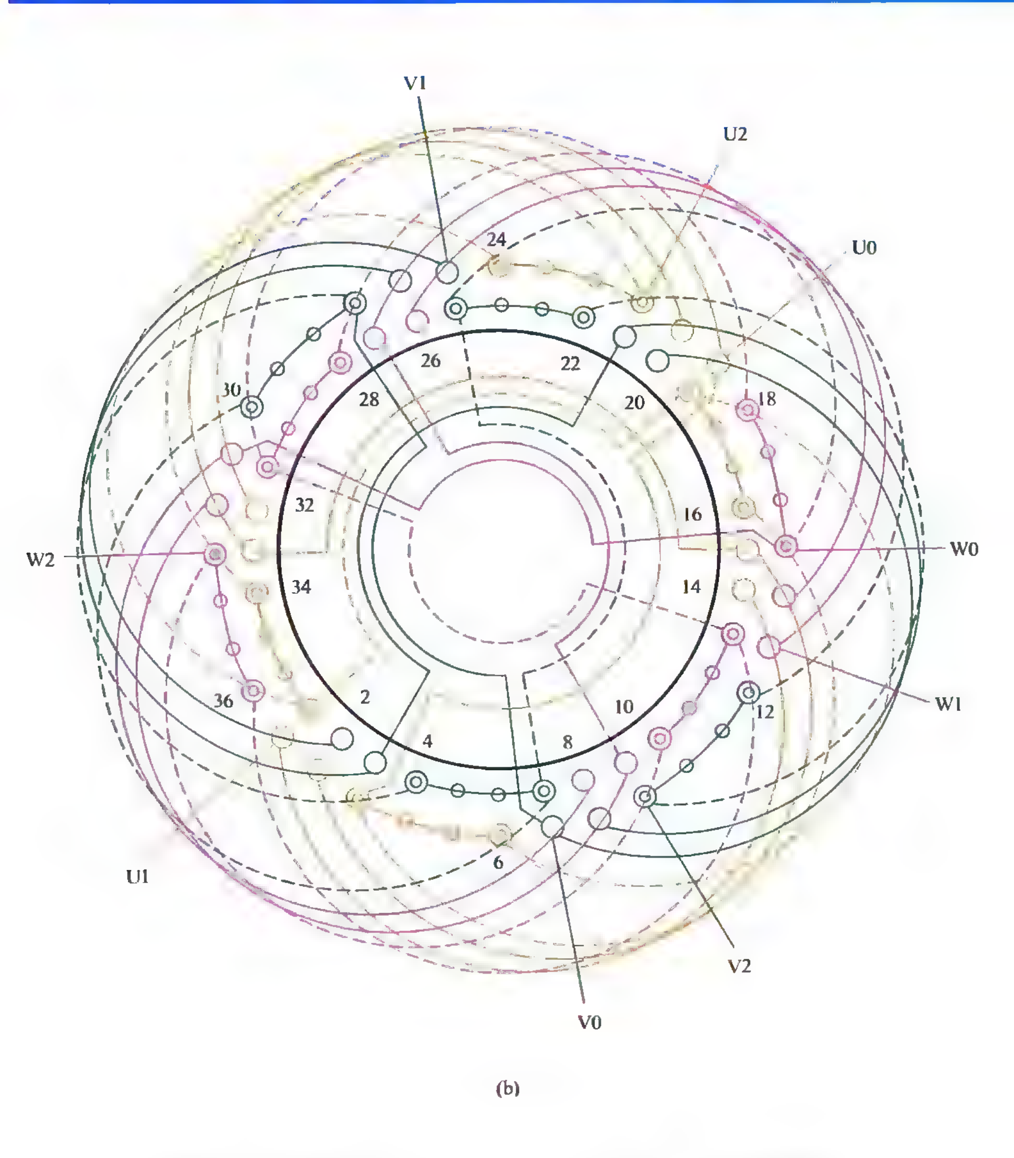
本例为2极绕组，抽头比例1∶2。由于每极相槽数$q=6$，故本例采用极相分裂法，将极相线圈组分成2圈和4圈，其中2圈组为延边Y形；4圈为△形。接线时将延边的线圈组反极性串联，再与△形线圈组串联，但均需保持一般电动机绕组的极性不变。本绕组可根据图1-1下方的端子接线，作反比例2∶1抽头使用，这时，启动电流$I_K \approx 0.43 I_{KD}$，启动转矩也相应下降。本例适用于Y180M-2等单路电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-27（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-27　36 槽 2 极（$y=13$、$a=1$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.6　36 槽 2 极（$y=13$、$a=2$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

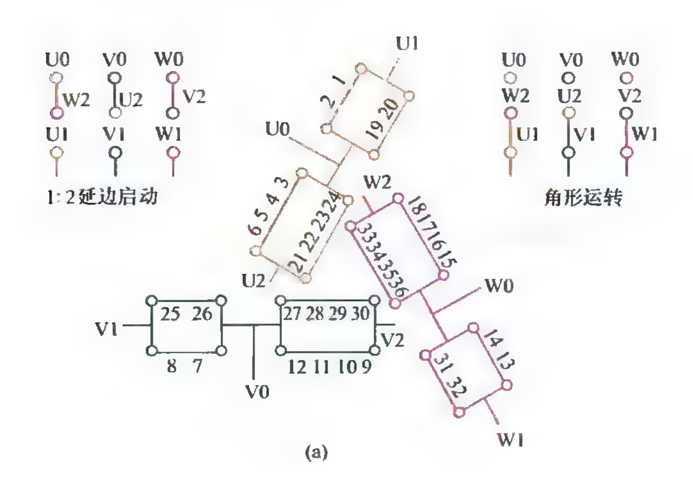
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=4$、2
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=10°$
线圈节距	$y=13$	绕组系数	$K_{dp}=0.828$
绕组极距	$\tau=18$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

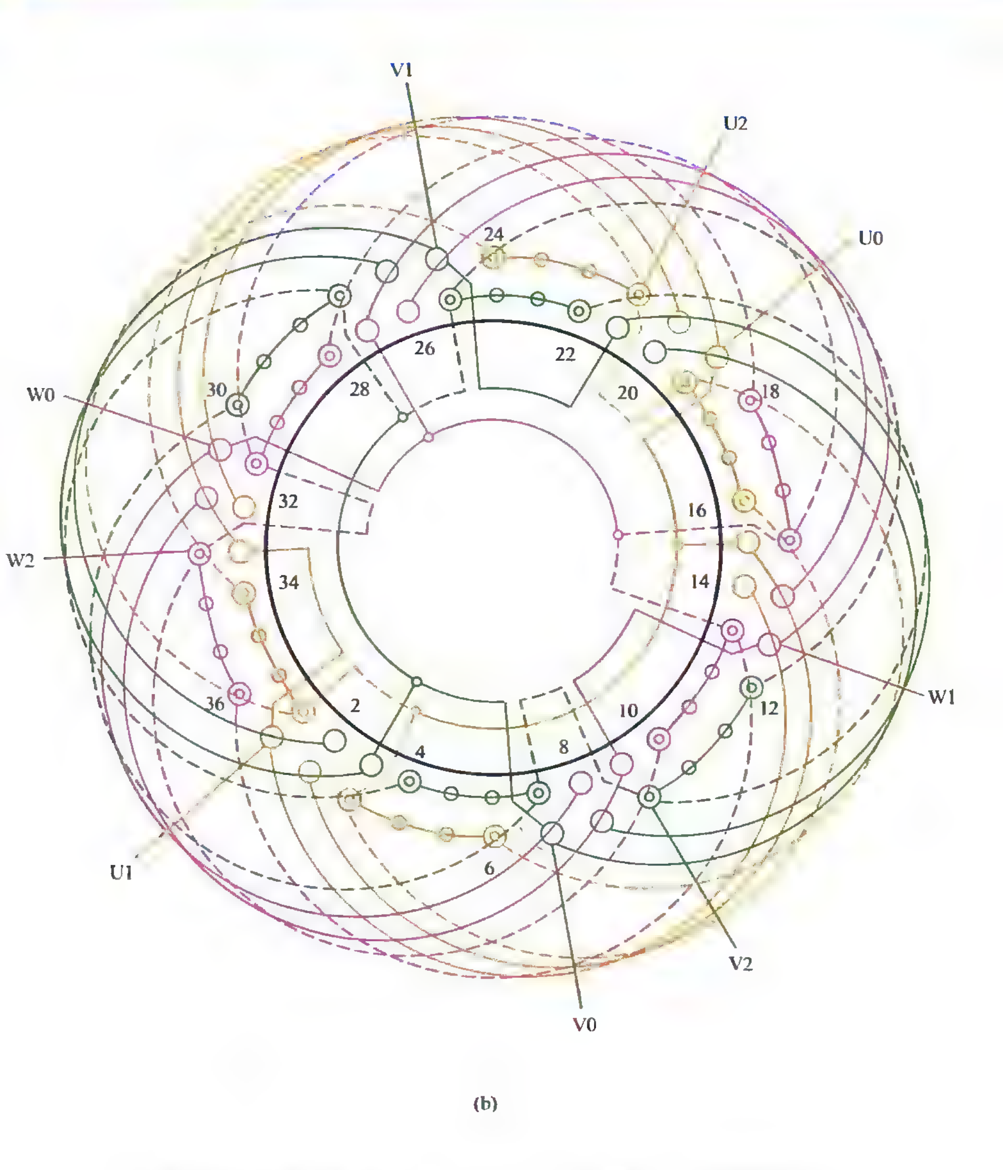
本例 2 极绕组采用 2 路并联，延边部分由 2 组双联线圈组并联；△形部分则由 2 组 4 联组成。在分组上仍用极相分裂法进行抽头分组。本绕组也可将电源从 U2、V2、W2 输入，如图 1-1 下方的端子接线用作 2∶1反比例抽头使用，这时启动电流 $I_K \approx 0.43 I_{KD}$，启动转矩也相应下降。本例适用于 Y200L-2 等二路并联电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-28（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-28　36 槽 2 极（$y=13$、$a=2$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.7 36 槽 4 极（$y=7$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

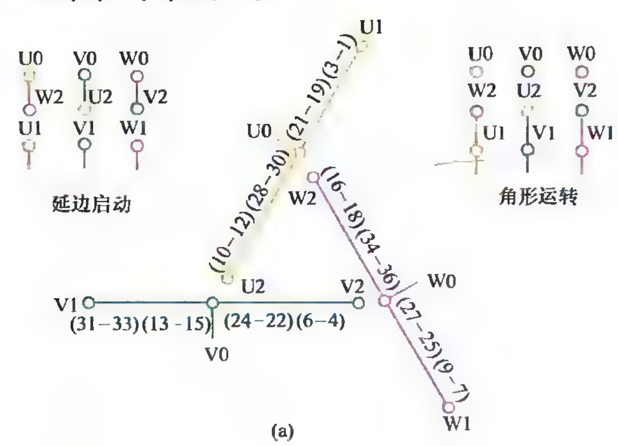
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7$	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

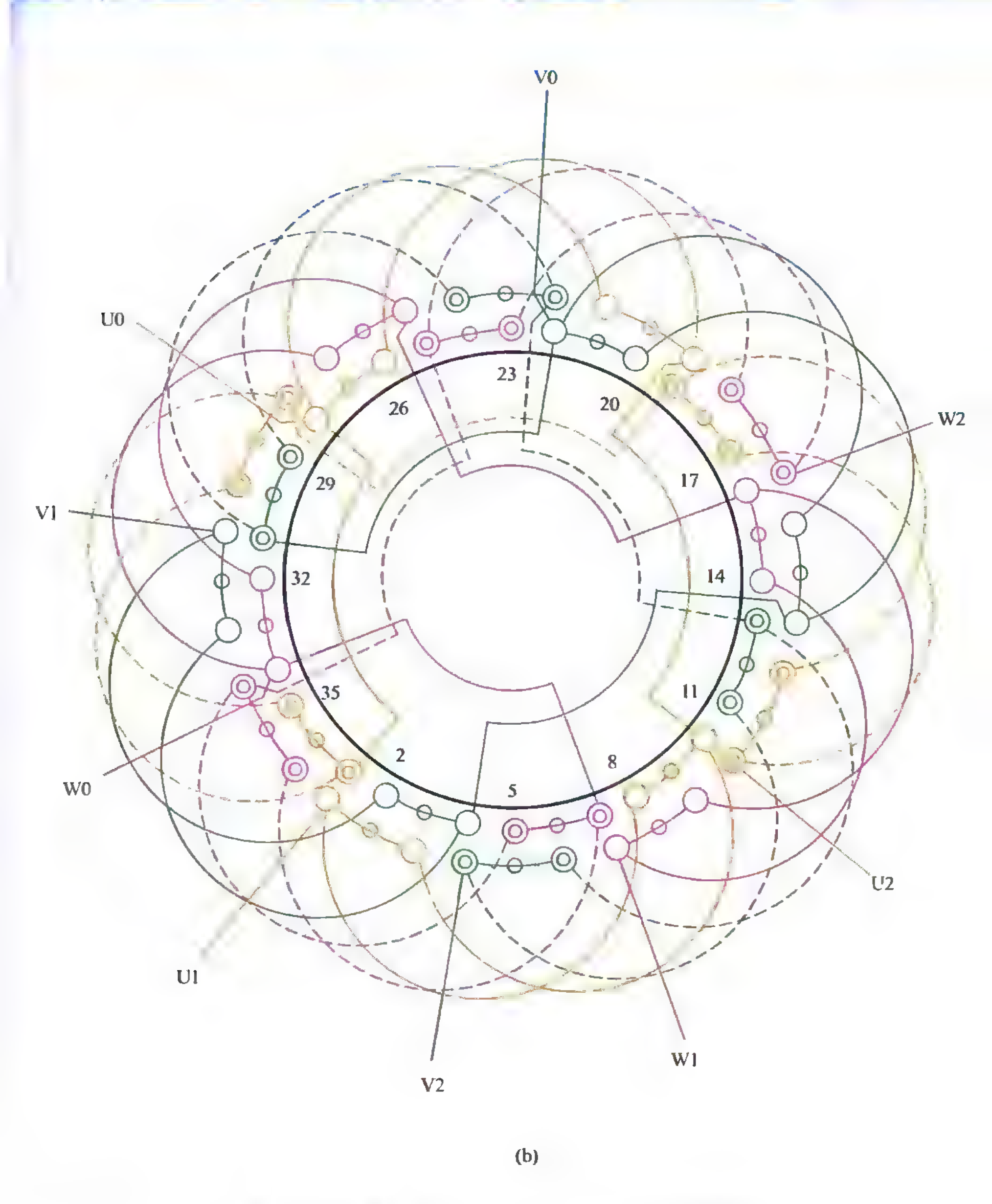
本例是 36 槽 4 极一路角形接法电动机的单层交叉式绕组改绕方案。因原绕组为单双圈结构，单层的改绕无法实施 1∶1 抽头，为此改绕成双层叠式。改绕后，绕组结构与双叠绕组相同，每组由 3 只线圈组成，但每相 4 组线圈分成两段，并在定子空间对称安排，使之构成对称绕组。改绕后延边段由两组正极性的 3 圈组顺向（逆时）走线串联而成。角形段则两组反极性，即反向走线串联成段。改绕双层线圈的匝数为 $W_2=0.532W_1$（匝）。此绕组适于 Y160L-4 等单层交叉式改绕 1∶1 延边启动绕组。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图 1-29（a）、(b）所示。



(a)



(b)

图 1 29　36 槽 4 极（$y=7$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.8 36槽4极（$y=7$、$a=2$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

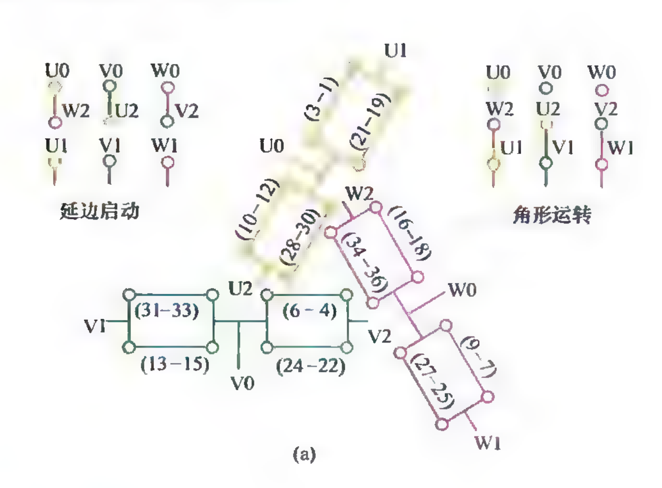
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=3$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7$	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1$　1
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

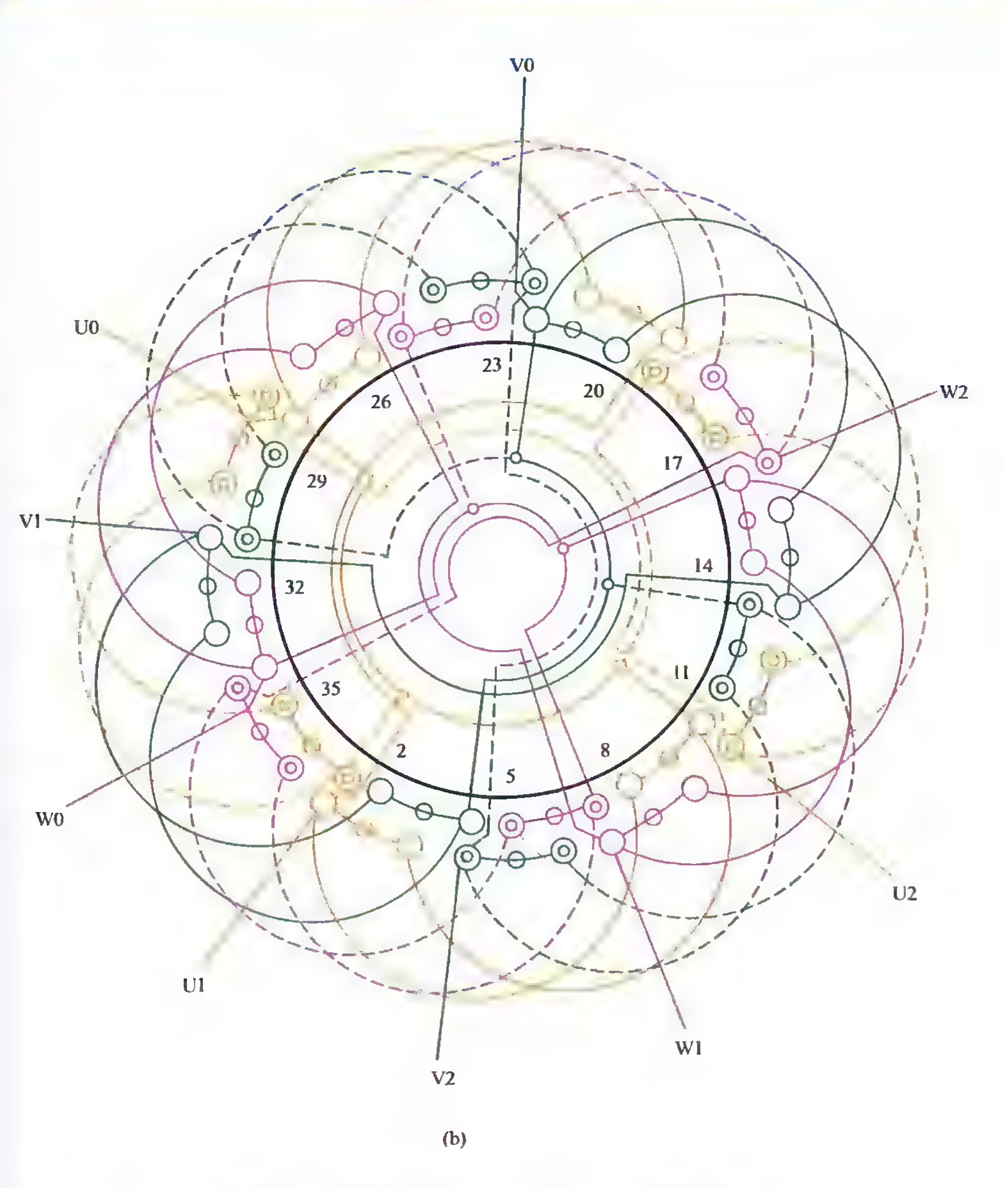
本例与上例绕组相同，但由并联支路数 $a=2$ 改绕，故两段绕组也分别构成两个分支回路，即如图 1-30 (a) 所示，两段每支路均只有一个3圈组，再并接成二路。延边段每支路各线圈为正极性；角形段则反之，线圈均为反极性。绕组改绕双层后，每线圈匝数改为 $W_2=0.532W_1$。此绕组适于 Y2-160M-4 等两路并联的单层交叉式绕组改绕，也可用于 JO3L-200M-4 等电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图 1-30 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图1 30　36槽4极（$y=7$、$a=2$）1：1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.9 36槽4极（y=7、a=2）1∶2（或2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

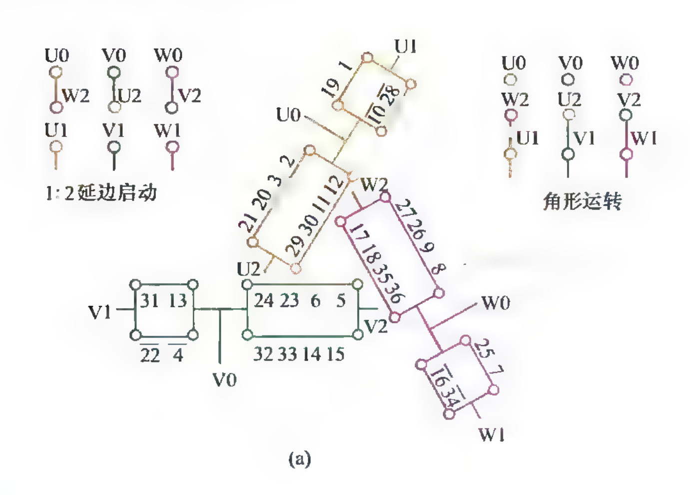
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	每组圈数	$S=1$、2
线圈组数	$u=24$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7$	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K\approx0.6I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

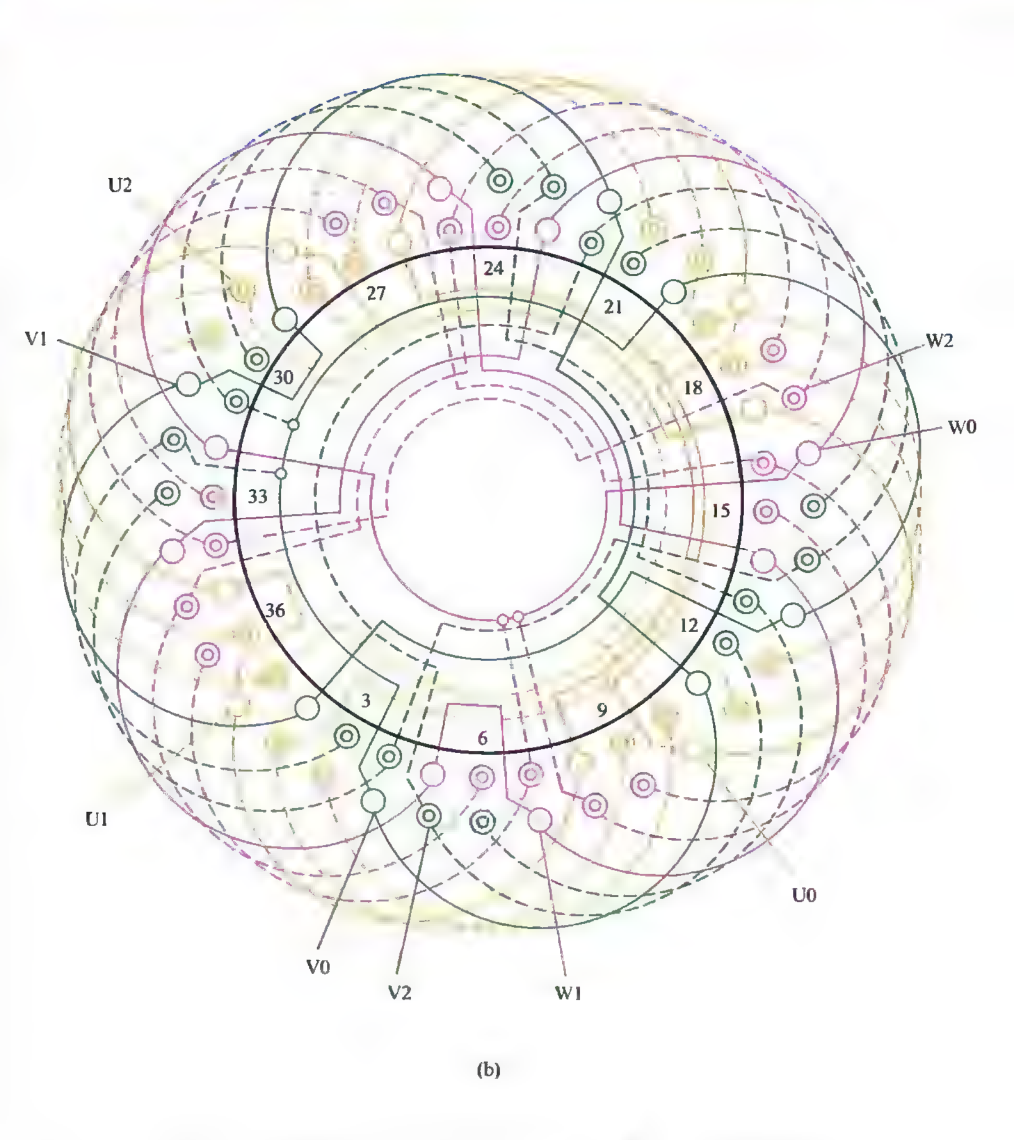
本例是36槽4极绕组，每极相槽数 $q=3$，故用1∶2抽头时宜采用极相分裂法，即将极相线圈分为单联和双联，保持原极性分别连接。绕组也可按图1-1下方的端子接线，反比例作2∶1抽头使用，这时启动电流 $I_K\approx0.43I_{KD}$。本例绕组适用于36槽4极的双叠绕组电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-31 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-31　36 槽 4 极（$y=7$、$a=2$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.10　36槽4极（$y=7$、8，$a=1$）1∶2（或2∶1）抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

（1）绕组结构参数

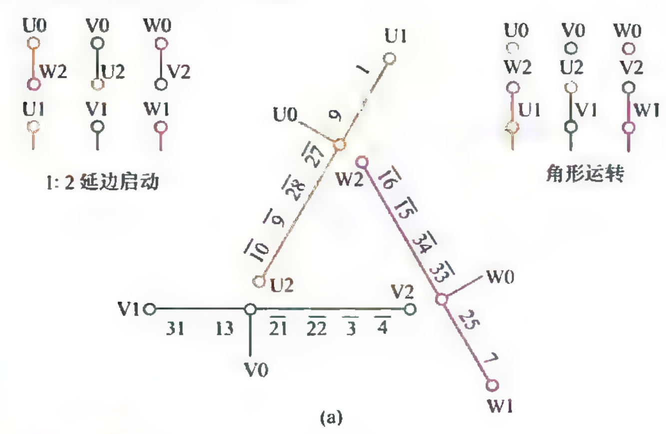
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=18$	每组圈数	$S=1$、2
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7$、8	绕组系数	$K_{dp}=0.96$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

36槽4极单层交叉式绕组每组平均线圈数为1½，实质属分数线圈绕组，归并后，线圈组由单、双圈组成。若改绕延边启动，为满足对称条件，每相4组线圈必须使单圈和双圈分置于同段，所以无法改绕成1∶1抽头。而本例设计考虑稍大的启动转矩，故取抽头比例为1∶2。这时，延边段只有两只单圈，其极性为正；角形段则为两组双圈，全是反极性，如图1-32（a）所示。此例也可改接2∶1启动。本例适于36槽4极一路角形接法的单层交叉式绕组，如Y2-160M-4、Y160L-4等电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-32（a）、（b）所示。



(a)

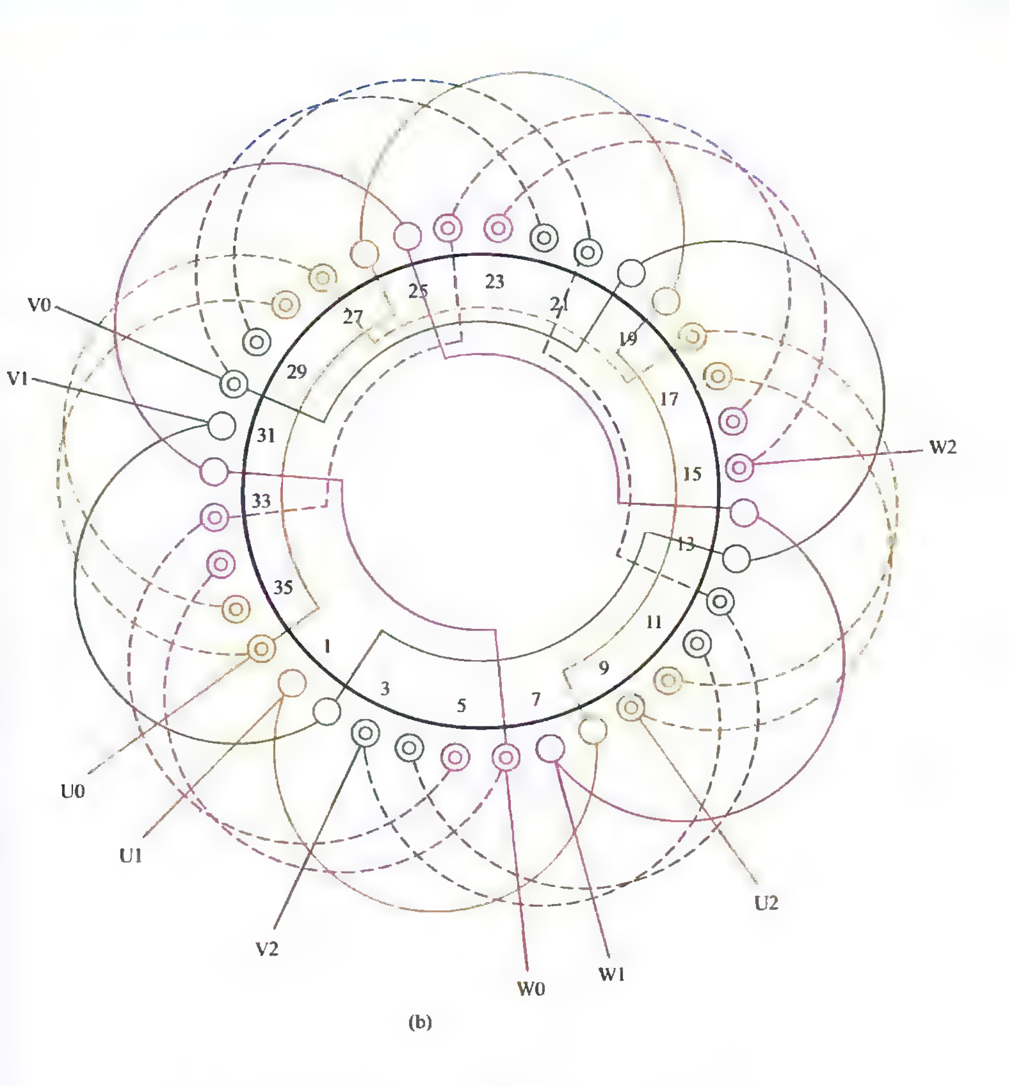


图 1-32　36 槽 4 极（$y=7$、8，$a=1$）1∶2（或 2∶1）抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

1.2.11 36槽4极（$y=7$、8，$a=1$）2∶1（或1∶2）抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

(1) 绕组结构参数

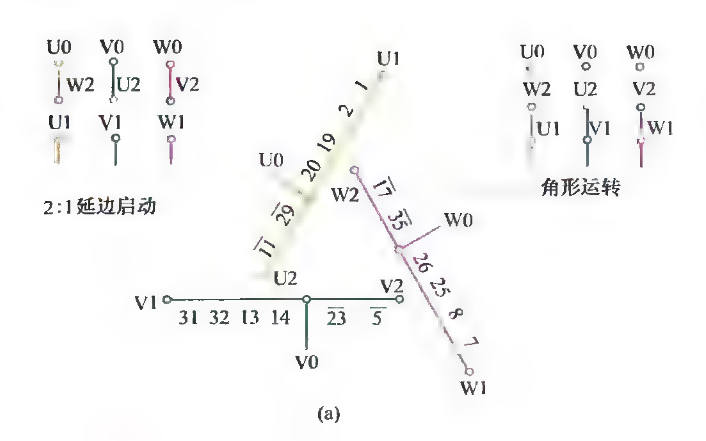
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=18$	每组圈数	$S=2$、1
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7$、8	绕组系数	$K_{dp}=0.96$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=2:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K\approx0.43I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

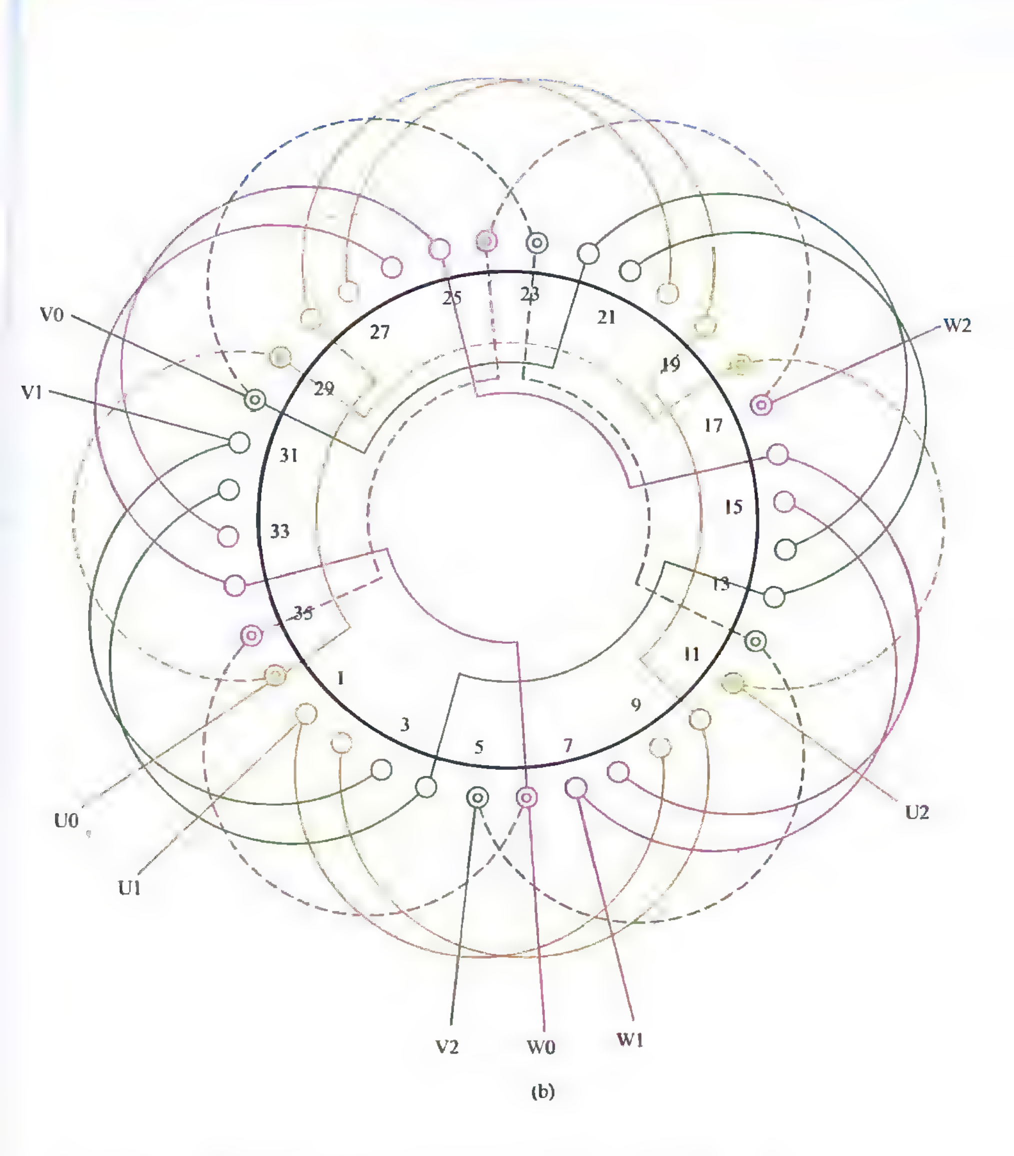
本例绕组特点基本与上例相同，但改绕采用2∶1抽头比例，即延边段用4只线圈（两组双圈）串联；而角形段为两组单圈串联。采用此抽头比例可使电动机启动电流比1∶1抽头还小，但启动转矩也随之下降，故只适宜负载静阻力较小的启动场合使用。改绕时要酌情选用。但若需加大启动转矩则可按图1-1下方端子接线，作反比例1∶2抽头启动，这时启动转矩约可提高到0.58T_{KD}左右；但启动电流则相应增加。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-33（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-33　36 槽 4 极（$y=7$、8，$a=1$）2∶1（或 1∶2）
抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

1.2.12 36槽4极(y=7、8，a=2) 1∶2(或2∶1)抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

(1) 绕组结构参数

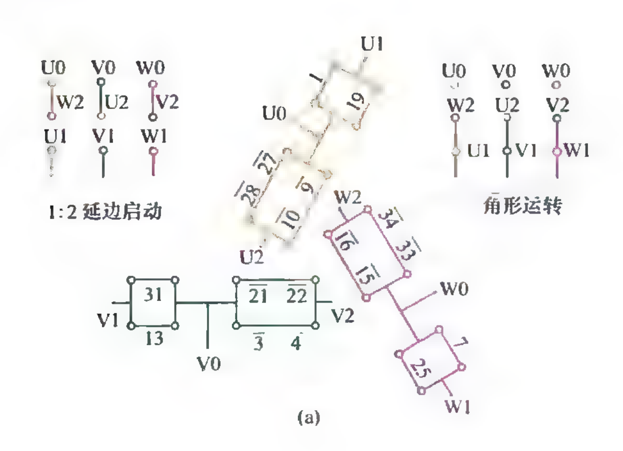
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=18$	每组圈数	$S=1、2$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=20°$
线圈节距	$y=7、8$	绕组系数	$K_{dp}=0.96$
绕组极距	$\tau=9$	抽头比例	$\beta=1:2$
并联路数	$a=2$	启动电流	$I_K \approx 0.6 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

本例绕组结构采用二路接线，也是采用1∶2抽头，较上例的启动转矩有所增加。由于是两路并联，因此延边段的两个单圈组分别成为各自支路；而角形段两个双圈组也安排在两个支路上，如图1-34(a)所示。本例是两路并联的绕组改绕，改绕后仍为单层。可作为Y160M-4等规格的电动机改绕延边启动绕组。如果启动负载很轻时还可试用2∶1抽头，这时可按图1-1下方的端子接线。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-34(a)、(b)所示。



(a)

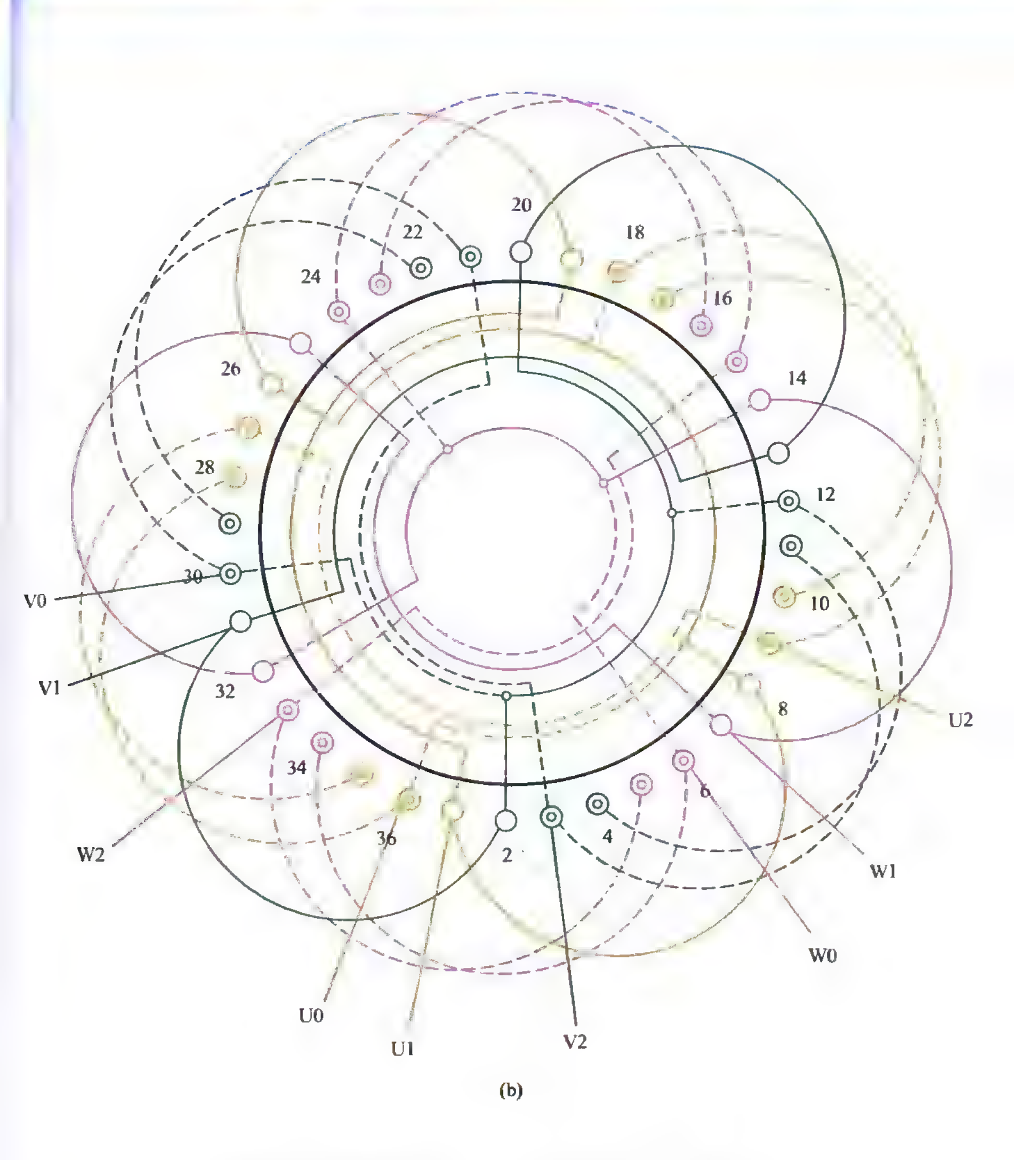


图 1-34　36 槽 4 极（$y=7$、8，$a=2$）1∶2（或 2∶1）
抽头延边三角形启动绕组单层交叉式布线

1.2.13 36槽6极（$y=5$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=36$　　电机极数 $2p=6$

总线圈数 $Q=36$　　每组圈数 $S=2$

线圈组数 $u=18$　　每槽电角 $\alpha=30°$

线圈节距 $y=5$　　绕组系数 $K_{dp}=0.933$

绕组极距 $\tau=6$　　抽头比例 $\beta=1:1$

并联路数 $a=1$　　启动电流 $I_K \approx 0.5 I_{KD}$

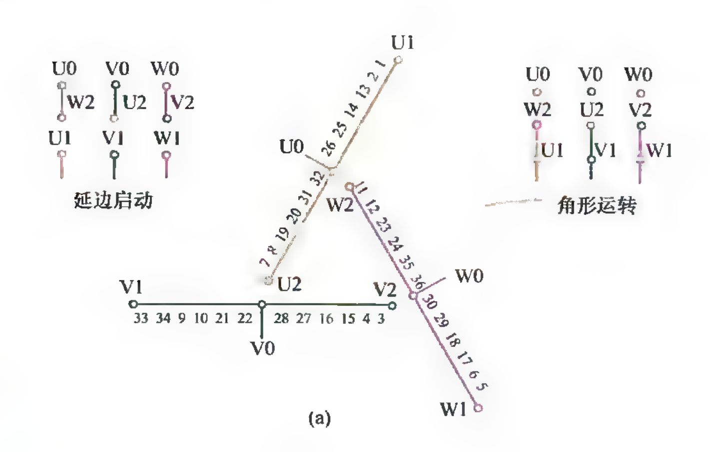
出线根数 $c=9$

（2）绕组布接线特点及应用举例

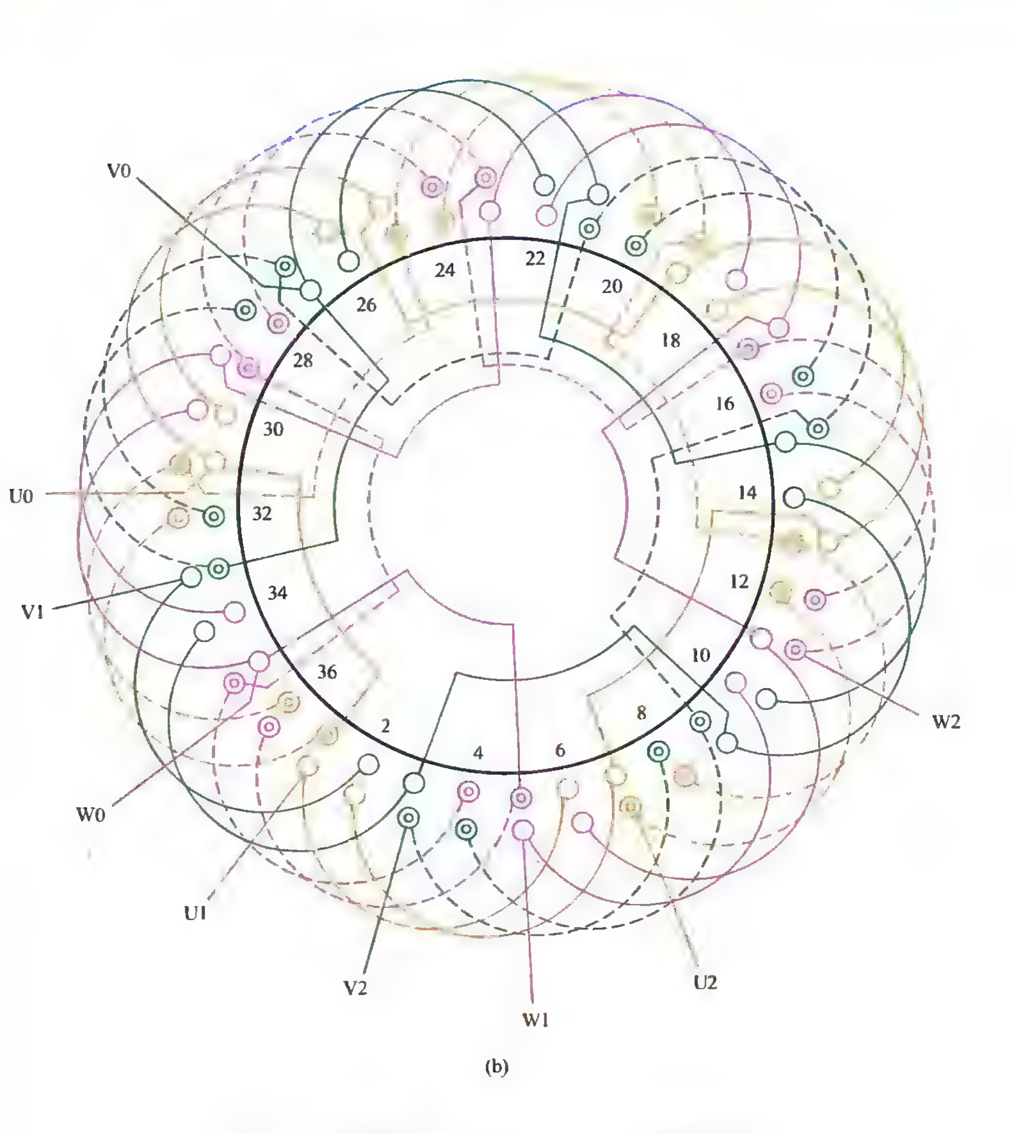
本例是用36槽6极单链绕组改绕成延边三角形启动绕组，当然也可如下例保留原来绕组型式改绕。但改绕成双层叠式时，可将原来一只线圈变成两只，故每组均有两只线圈，而每段均由3组双圈串联而成，但两段线圈极性相反，即延边段全部线圈为正极性；角形段则全部是反极性。单链改绕双层后，每线圈匝数应为 $W_2=0.517W_1$。本例改绕适宜Y2-160L-6、Y160M-6等36槽6极单链绕组的电动机。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-35（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-35 36 槽 6 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.14 36槽6极（y=5、a=1）1∶1抽头延边三角形启动绕组单层链式布线

(1) 绕组结构参数

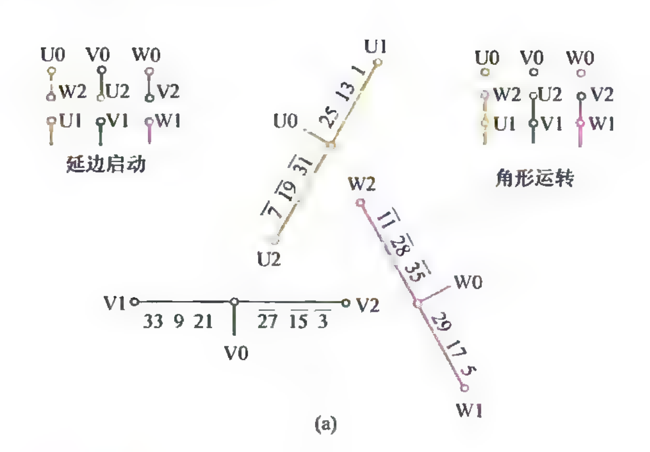
定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=18$	每组圈数	$S=1$
线圈组数	$u=18$	每槽电角	$\alpha=30°$
线圈节距	$y=5$	绕组系数	$K_{dp}=0.966$
绕组极距	$\tau=6$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

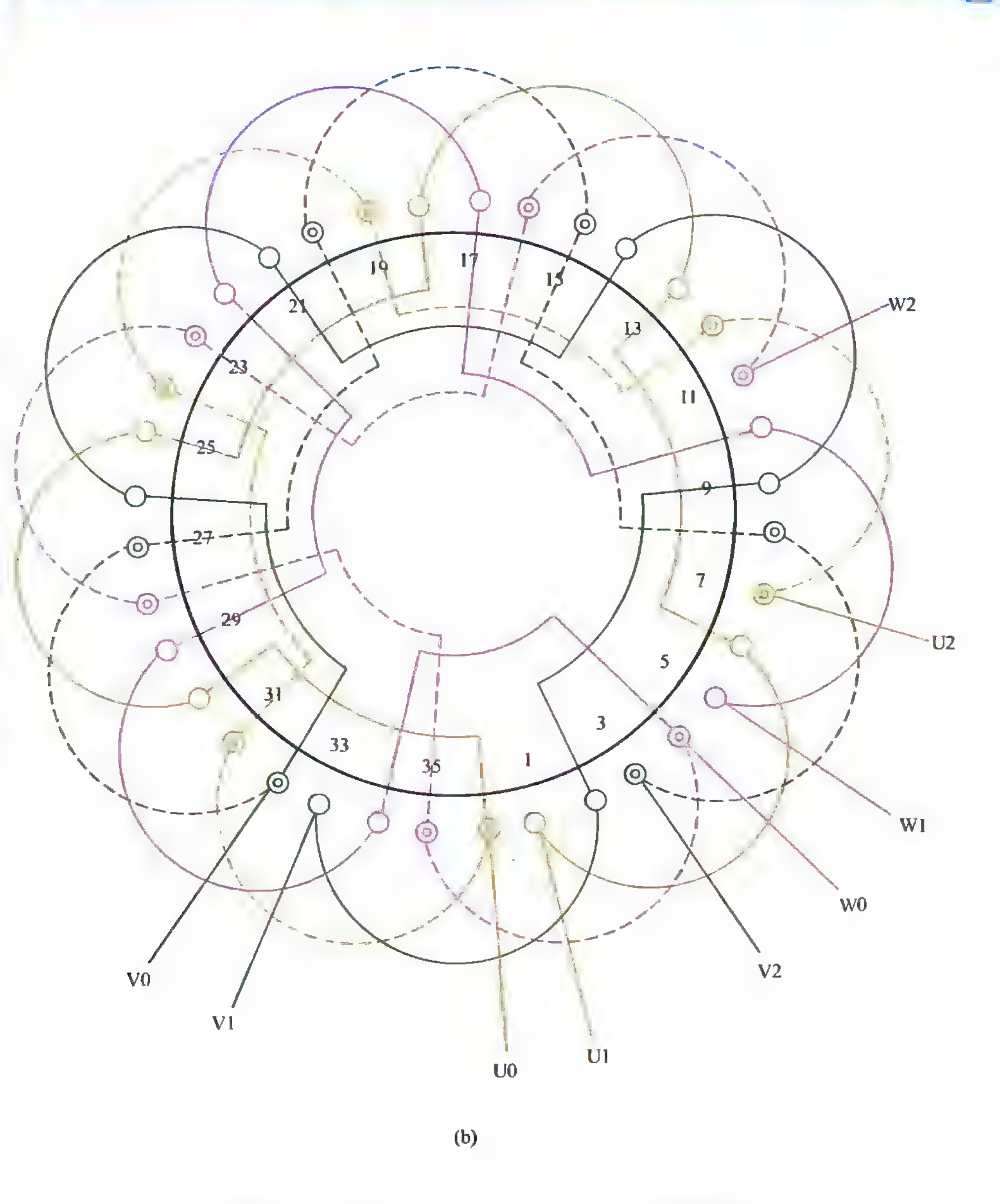
本例是为单层链式绕组改绕延边启动绕组而设计，改绕前后均属单层链式，每组为单圈。改绕后线圈的接线有别于前面各例，因每相延边段与角形段分别由3只线圈组成，但延边段的线圈极性均为正；角形段3线圈则全是反极性。两段线圈在定子上隔组分布，接线时两段线圈反方向，从而使每段构成庶极形式，如图1-36（b）所示。本绕组改绕适于36槽6极单链绕组，主要应用如Y160L-6、Y2-160M-6等改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-36（a）、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-36　36 槽 6 极（$y=5$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组单层链式布线

1.2.15 30槽2极（$y=11$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=30$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=30$	每组圈数	$S=3$、2
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=11$	绕组系数	$K_{dp}=0.875$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K\approx 0.5I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

(2) 绕组布接线特点及应用举例

本例单层绕组改绕为双层叠式，每组改由3圈和双圈构成。每相分两段，其中延边段有一个正极性的3圈组和一个反极性的双圈组；角形段则由正极性的双圈组和反极性的3圈组串联而成。虽然每相采用不等圈线圈组，但两段绕组所含线圈数是相等的，故仍属1∶1抽头，改绕后的启动电流约为原绕组的一半。

嵌线方法与双叠绕组相同，但线圈组有两种规格，嵌线时要按图嵌入，以免嵌错造成返工。此外，原单层绕组系数较高，改绕后的绕组系数相差较大，为确保改绕后的磁通密度不致过大，本例双层线圈匝数应按下式换算：

$$W_2=0.547W_1$$

式中 W_1，W_2——原来单层和改绕双层的线圈匝数。

本例主要适用Y2-160M1-2等同心交叉式绕组的改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-37 (a)、(b) 所示。

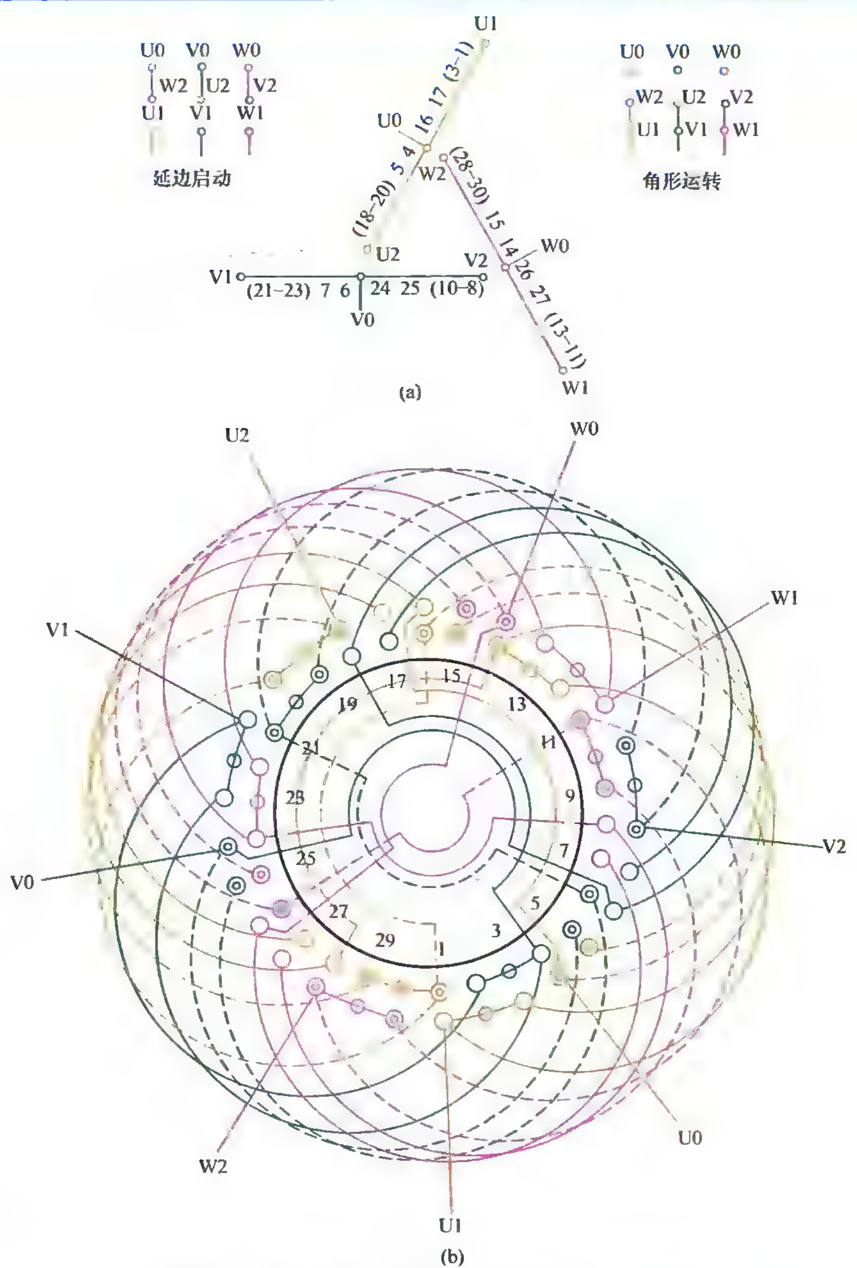


图 1-37　30 槽 2 极（$y=11$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组双层叠式布线

1.2.16　30槽2极（S=1、2，a=1）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组单层同心交叉式布线

（1）绕组结构参数

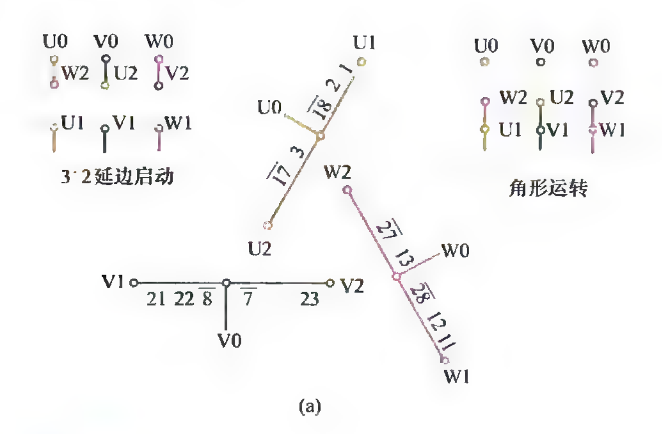
定子槽数	$Z=30$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=15$	每组圈数	$S=2、1$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=15、13、11$	绕组系数	$K_{dp}=0.957$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=3:2$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K\approx0.455I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

（2）绕组布接线特点及应用举例

本例原绕组是单层交叉式，每相由3圈和2圈组串联而成，若改绕延边启动，并避免单边磁拉力，需将原来线圈组分拆，但由于3圈组不能分拆对半，故只好用归并法使其分成单圈和双圈组。今拟取延边段为3圈，三角形段用2圈，从而构成3∶2抽头，如图1-38（a）所示。本例绕组改绕后，如嫌启动力不足，则可按端子图1-1下方接线改作2∶3抽头，这时启动电流 $I_K\approx0.556I_{KD}$，当然启动转矩也随之提高。主要应用于Y2-160M1-2、Y160M2-2等30槽2极电动机的改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图1-38（a）、（b）所示。



(a)

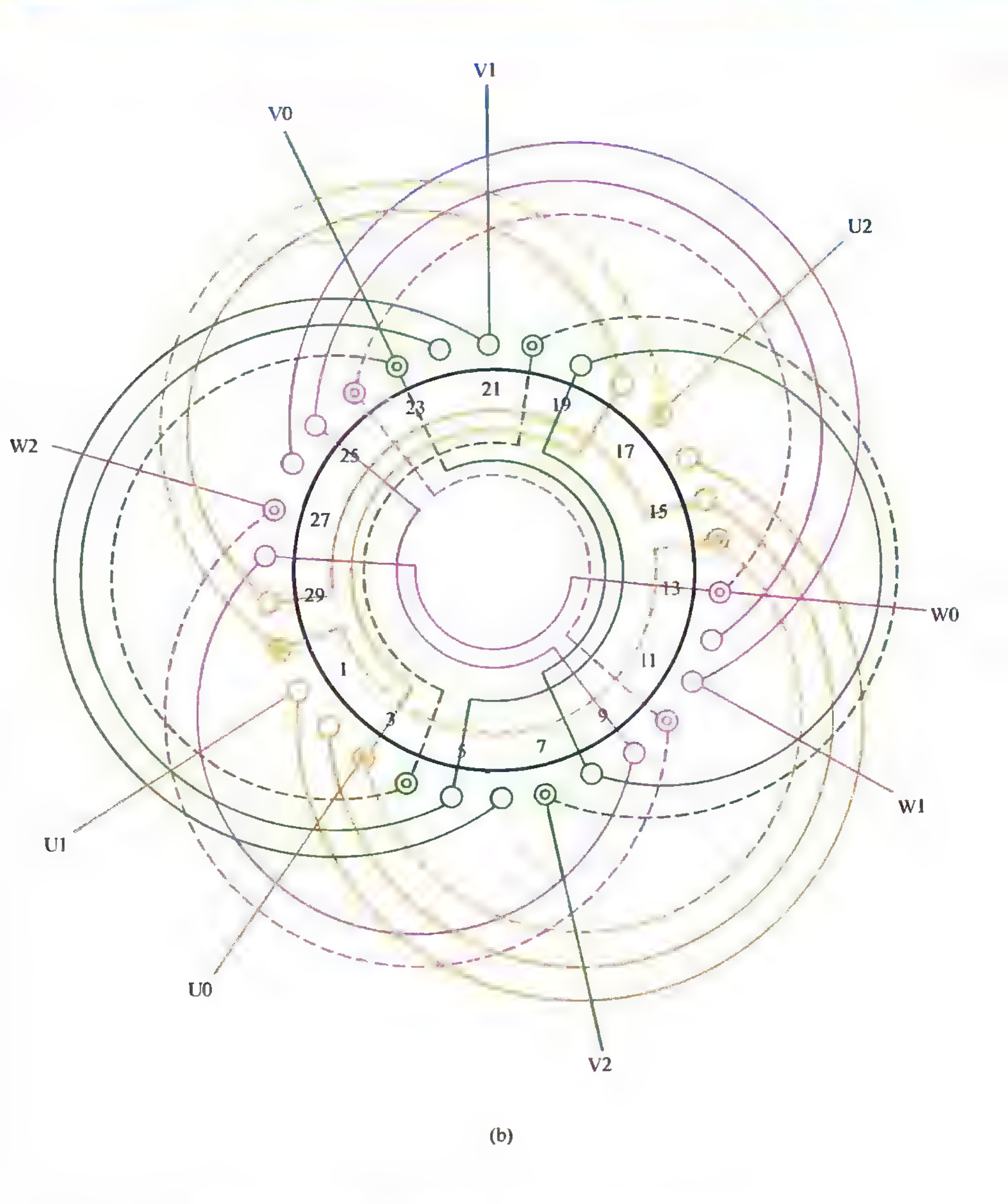


图1-38　30槽2极（$S=1$、2，$a=1$）3∶2（或2∶3）抽头延边三角形启动绕组单层同心交叉式布线

1.2.17　30 槽 2 极（y_d=13、a=1）1∶1 抽头延边三角形启动绕组单双层（同心式）布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=30$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=18$	每组圈数	$S=2$、1
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=12°$
线圈节距	$y=15$、13、11	绕组系数	$K_{dp}=0.957$
绕组极距	$\tau=15$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

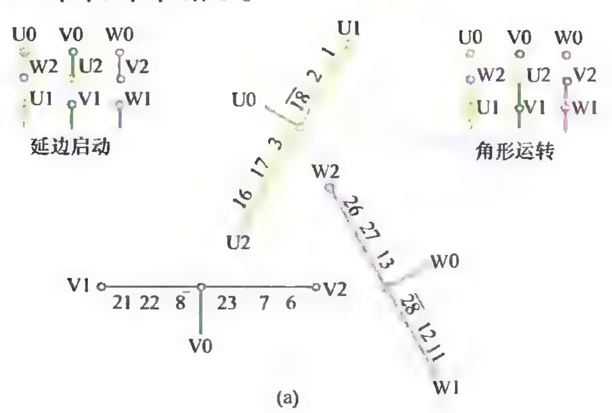
（2）绕组布接线特点及应用举例

本例专为单层同心交叉式改绕而设计，为使其获得 1∶1 抽头，并消除单边磁拉力，特将 3 圈组中的大线圈一分为二，改为双层布线，从而使改绕后的绕组转变成单双层绕组。改绕后每段均由两只单层一只双层线圈组成，使延边段与角形段所含线圈数相等。绕组接线极性则相反，即延边段线圈是两正一反；角形段是一正二反，如图 1-39（a）所示。

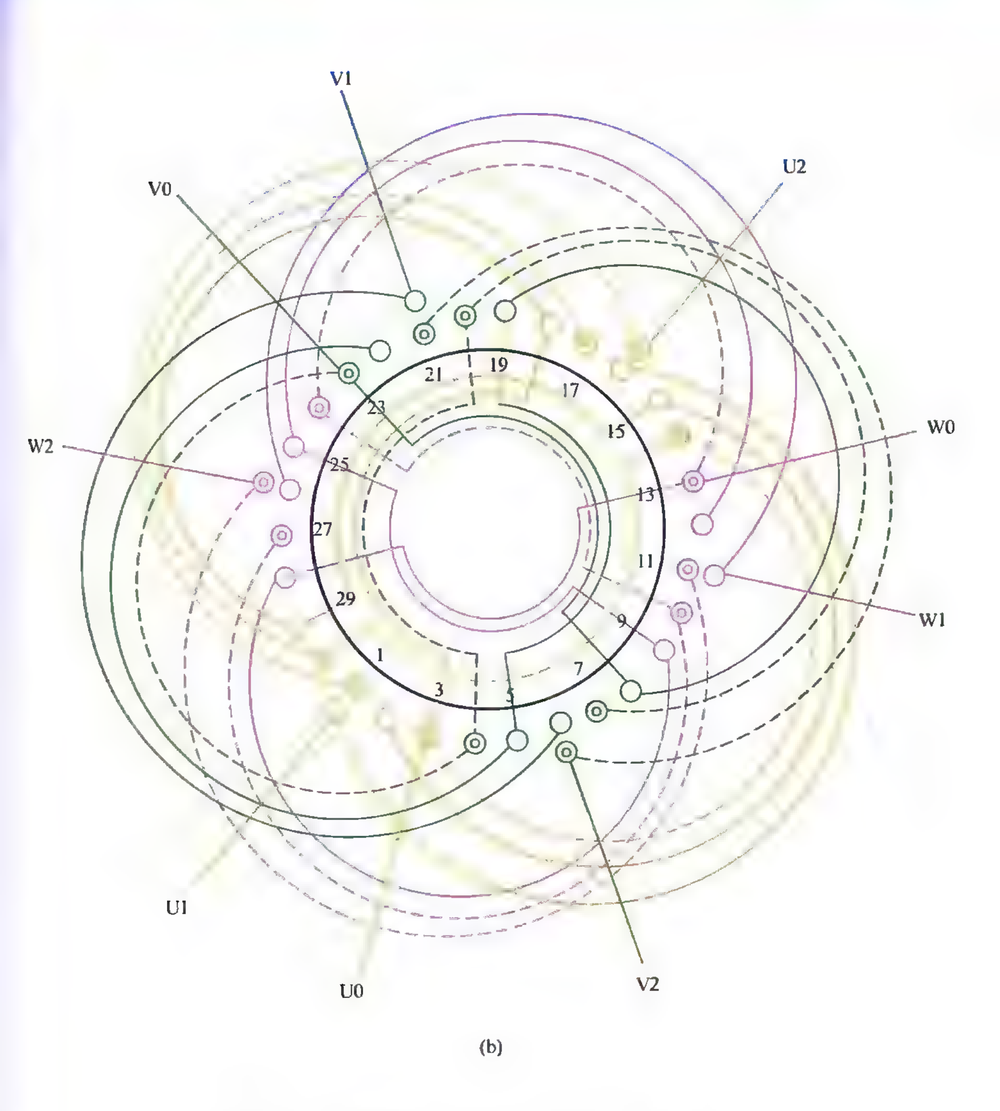
此绕组适用于 1∶1 抽头的 30 槽 2 极单层同心交叉式绕组改绕。主要应用如 Y160M1-2、Y2-160M2-2 等电动机改绕。

（3）绕组变换及端面布接线

如图 1-39（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 1-39　30 槽 2 极（$y_d=13$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组单双层（同心式）布线

1.2.18 24槽2极（$S=1$、$a=1$）1∶1抽头延边三角形启动绕组单层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=24$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=12$	每组圈数	$S=1$
线圈组数	$u=12$	每槽电角	$\alpha=15°$
线圈节距	$y=11$、9	绕组系数	$K_{dp}=0.958$
绕组极距	$\tau=12$	抽头比例	$\beta=1:1$
并联路数	$a=1$	启动电流	$I_K \approx 0.5 I_{KD}$
出线根数	$c=9$		

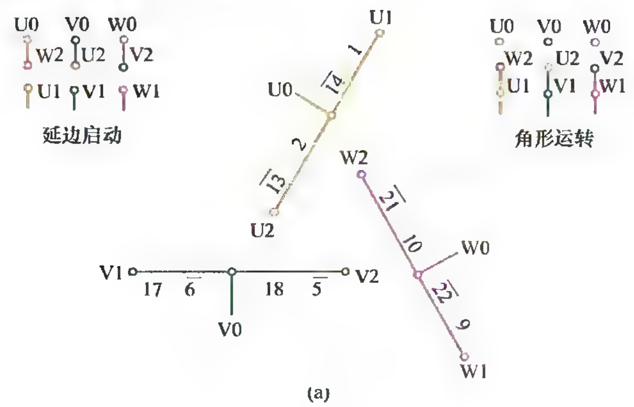
(2) 绕组布接线特点及应用举例

本例由单层同心式改绕而成，原绕组每组有两只同心线圈，改绕时，为避免磁场不对称而产生单边磁拉力，须将原线圈组分拆成两半，即每组一圈。接线时分别取两组中的大、小各一线圈串联构成一段，从而构成Y（延边）绕组段和角形绕组段，如图1-40（a）所示。

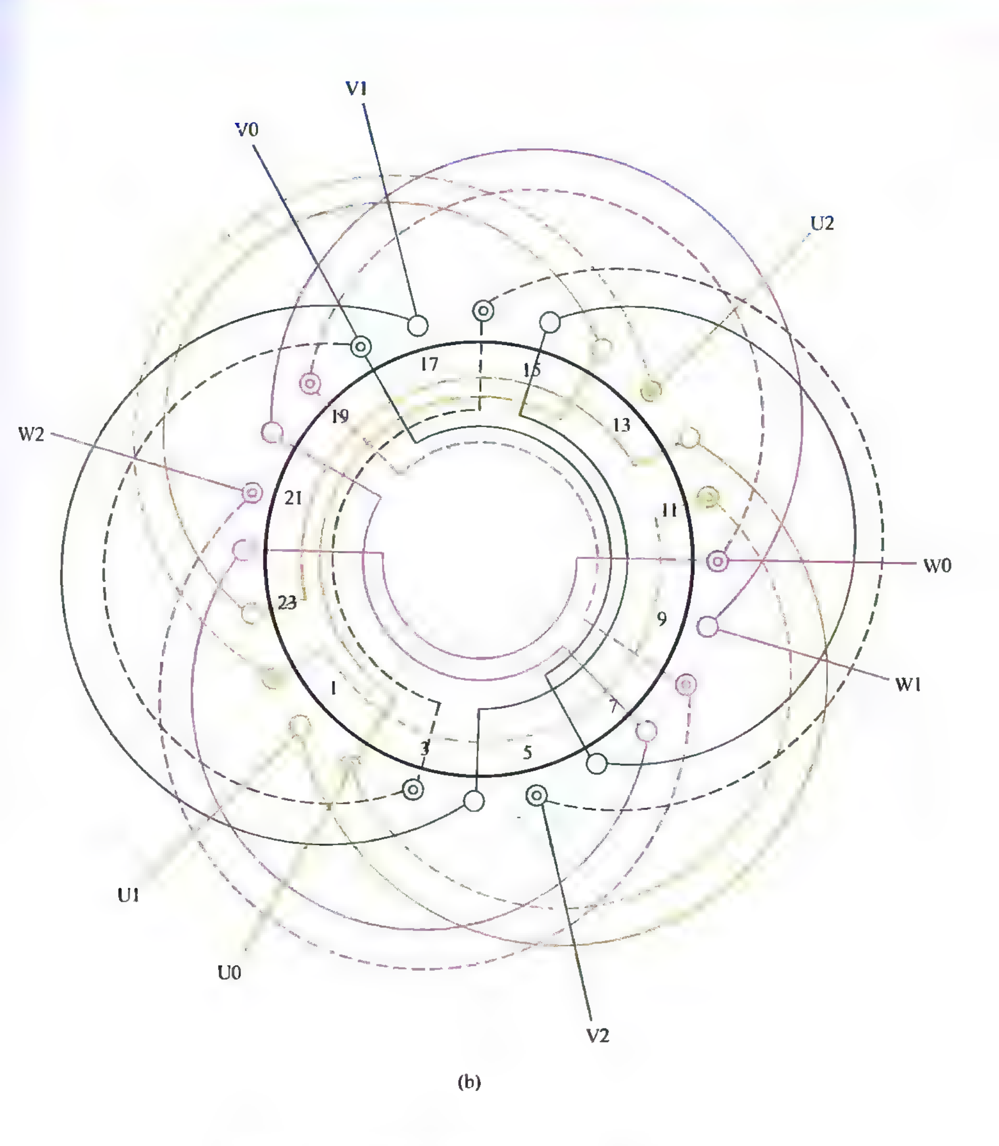
此绕组抽头比$\beta=2/2=1:1$，即延边段与角形段所占线圈数相等。改绕后启动电流约可降至原来启动电流的一半。本绕组适用于24槽2极的电动机改绕。

(3) 绕组变换及端面布接线

如图1-40（a）、(b) 所示。



(a)



(b)

图 1-40　24 槽 2 极（$S=1$、$a=1$）1∶1 抽头延边三角形启动绕组单层同心式布线

对改绕来说，凡额定电压380V、△形接法的电动机都可以改绕延边三角形启动绕组。但若拟改电动机完好，且绕组绝缘质量良好，而又找到了与此电机规格相同的延边绕组图（如槽数、极数、绕组型式及线圈节距都相同），则可依图进行改接，从而节省改绕成本。如若绕组型式相同，但线圈节距不同则不宜改接，而必须进行数据换算后，再重新改绕。这时改绕后的匝数由下式确定：

$$W = W'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$$

式中　W——绕组型式相同时改绕后的线圈匝数，匝；

W'——改绕前绕组匝数，匝；

K'_{dp}——改绕前绕组系数；

K_{dp}——改绕后选定图例的绕组系数。

下面举例说明。

[例]　某在用的380V、△形、二极电动机损坏后拟改绕1∶1抽头延边三角形启动绕组。拆线查得原绕组是二路△形双层叠式，定子36槽、线圈节距 $y=1$—15，每组圈数 $S=6$，线圈匝数 $W'=13$ 匝。试求改绕数据。

（1）计算原绕组系数

由题已知 $Z=36$、$2p=2$，$y=14$

绕组极距

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{2} = 18 \text{（槽）}$$

极相槽数

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{2\times 3} = 6 \text{（槽）}$$

绕组系数　q 为整数，故 $C=q=6$，则原绕组系数为：

$$K'_{dp} = \frac{0.5}{C\sin(30^\circ/C)}\sin\left(90^\circ\frac{y}{\tau}\right) = \frac{0.5}{6\sin(30^\circ/6)}\sin\left(90^\circ\frac{14}{18}\right) = 0.898$$

（2）改绕后匝数

由本书选用图1-26，36槽2极（$y=13$、$a=2$）1∶1抽头延边三角形启动绕组，绕组系数 $K_{dp}=0.828$。改绕每圈匝数为

$$W = W'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}} = 13\times\frac{0.898}{0.828} = 14.1 \text{（匝）}$$

重绕取线圈匝数 $W=14$ 匝，按图进行，即绕组型式、导线规格以及并绕根数均不变。

第 2 章

异步电动机改绕三相正弦绕组

三相正弦绕组是由一套星形绕组和一套角形绕组混接而成的高质量特殊绕组，故又称星-角混合绕组。它具有如下特点：

① 正弦绕组可以加强基波磁势的同时，有效地削减五、七次谐波干扰，从而改善电动机性能；

② 改绕正弦绕组，特别是双层改绕正弦绕组，即使节距不变，其改绕后的绕组系数也有相当的提高，进而可使运行功率因数提高，而使电动机出力相应增加；

③ 改绕后，如果从双层改绕单层正弦，除可节省层间绝缘材料外，因槽满率下降而可适当增大正弦绕组的导线截面积，可使定子绕组铜损降低而节约电能，进而提高电动机的运行效率，并降低温升；

④ 正弦绕组安排的空间相位差缩减为30°相带，使气隙磁势更接近于正弦；从而减少了振动和噪声，使电动机运行更加稳静；

⑤ 虽然正弦绕组具有很多优点，但不同电动机改绕后的经济效果并非相同，一般来说，高速电动机改绕效果较明显，例如，2、4 极电动机改绕后其效率一般可提高 2%～4%；此外，还要看原机的质量，若原来设计合理，而附加损耗又很小，则改绕后的效果就不理想，所以最好选 JO2、JO3、JO4 等系列的正规厂家产品，特别是原用铝线绕组的电机；因其以铝改铜的槽有效空间较大，且铁芯材质也有保证，故此改正弦的效果最佳。

正弦绕组电动机虽属节能电机，但并无系列产品，如用户需要可向厂家订制，修理中偶尔遇到说明其应用存在。对大型企业也有自行改绕的，因此，本书就以旧电机改绕推出本章图例。此外，由于老系列电动机的接线盒为后置式，其接线端在后部，故本章例图若电源相序匹配，则从出轴端对视电动机仍为正（顺时针）旋转。

（1）正弦绕组的构成

正弦绕组是把60°相带绕组每极相分成△形和 Y 形两部分。由于星形绕组较角形绕组电流滞后30°电角，从而使电机综合电流在定子圆周上的分布更接近于正弦波形，故被称为正弦绕组。正弦绕组的构成是以三相绕组为基础，即将三相绕组每极相所占槽数 q 一分为二，一部分接成角形绕组，另一部分接成星形绕组，两部分绕组分别按常规独立接线，实质是在一台电机定子上嵌入两套三相绕组，最后将两部分绕组按需接成⩟形或⅄形。

(2) 正弦绕组结构参数

① 线圈数　正弦绕组总线圈数是Y、△两部分线圈之和，即 $Q = Q_y + Q_d$。如是双层布线，总线圈数等于槽数；若为单层布线则 $Q_{总} = Z/2$；单双层布线则为非常数，并介于两者之间。

② 每组圈数　包括角形（S_d）和星形（S_y）两部分，并分开计量。

③ 极相槽数　是三相电动机原绕组参数，即 $q = Z/2pm$，正弦绕组将其分成角形（q_d）部分和星形（q_y）部分，它可以相等，也可不相等。

④ 并联路数　一般改绕宜取 $a_y = a_d$，但也可取 $a_y \neq a_d$ 的。

⑤ 绕组系数　正弦绕组系数要比改绕前有所提高，但它分成Y、△两部分计算；而总的绕组系数按理应将其折算到主相轴，但其计算相当复杂，故当前的做法是取其两者之平均值。虽然未尽合理，但误差不大。

(3) 正弦绕组布接线要点

正弦绕组的基本结构与其他型式三相绕组相同，不同的仅是它的总圈数多一倍，且分成互差30°相位的星、角两套绕组，并同时置于定子铁芯。但在嵌布线上要注意不同规格线圈组的安置，最好是依图嵌入。嵌线方法则与普通电动机一样，不再重述。

正弦绕组的接线型式分两种：一种是△形，命名为“内星角形”；另一种是⅄形，命名为“内角星形”。正弦绕组接线虽然复杂，但它由两套相对独立的绕组连接而成；引出线仅3根。因此在接线过程中，进线方位必须按图进行，其相属和首、尾都要严格区分，即使是星形绕组也不允许调反连接。此外，为了便于接线和检查，正弦绕组线圈的导线最好选用不同颜色的漆包线绕制，至少也要用不同色的绝缘套管加以区别属于星形或角形部分。

1) 内星角形接线要点

① 先将角形部分的线圈（组）按常规逐相接好后，连接成角形，并标出 U_d、V_d、W_d 三相出线端；

② 再把其余星形线圈（组）逐相连接后，尾端连成星点，接成Y形绕组；

③ 最后把星形绕组的尖端标示 U_y、V_y、W_y，并与 U_d、V_d、W_d 对应相接。

2) 内角星形接线要点

① 先将角形部分的线圈（组）按常规逐相接好后连接成角形，并

标出 U_d、V_d、W_d 三相头端；

② 再把属星形部分的线圈（组）逐相连接后不接星点，但标示相头 U_y、V_y、W_y，并作为引出线引出；

③ 最后将星形的三相尾端分相对应与角形部分的 U_d、V_d、W_d 分别并接，如例中图（a）。

（4）正弦绕组图例说明

① 正弦绕组每例由主、辅图构成，图（a）是辅图，以示意形式表示各槽线圈的相别和极性，辅导绕组的接线；图（b）为主图，用潘氏画法绘制；

② 正弦绕组每极相线圈由两部分组成，其中角形线圈有效边用单圈、端部用虚线表示；星形线圈则用双圈及粗实线表示；

③ 绕组参数中角形部分用脚注“d”表示；星形用“y”表示。

（5）改绕正弦绕组的参数换算

三相电动机（60°相带）绕组改绕正弦绕组后，其绕组参数必须随之改变，并与改绕前后绕组接法有关。改绕计算可参考表 2-1 中公式。

表 2-1　三相电动机改绕正弦绕组参数计算

绕组接法		改绕参数	正弦 Y 形部分	正弦△形部分
原绕组	改绕后			
△	Y△	每槽导线数	$N_y=1.12N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$	$N_d=1.94N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$
		导线截面积	$A_y=0.892A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$	$A_d=0.515A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$
	△	每槽导线数	$N_y=0.56N'\frac{K_{dp}}{K_{dp}}$	$N_d=0.97N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$
		导线截面积	$A_y=1.78A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$	$A_d=1.03A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$
Y	Y△	每槽导线数	$N_y=1.91N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$	$N_d=3.36N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$
		导线截面积	$A_y=0.515A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$	$A_d=0.299A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$
	△	每槽导线数	$N_y=0.97N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$	$N_d=1.68N'\frac{K'_{dp}}{K_{dp}}$
		导线截面积	$A_y=1.03A'\frac{K_{dp}}{K'_{dp}}$	$A_d=0.591A'\frac{K_{dp}}{K'_{d}}$

注：N'、A'——改绕电动机原三相绕组每槽有效导线数和导线截面积；

K'_{dp}、K_{dp}——原三相绕组及改绕后正弦绕组的绕组系数

由于正弦绕组换算是以原三相电动机数据为基准进行的，所以改绕前后的并联路数要求相同，如改绕后并联路数与原绕组不同时，可先将原绕组换算到改绕后的并联路数再进行正弦绕组参数换算。此外，如当改绕方案不能成立时，也可改变并联路数换算参数后再改绕。例如48槽4极电机原为双层叠式四路并联，若选用单双层布线的正弦绕组方案便无法构成四路并联，这时应先将原绕组变换成二路并联参数后，再换算成二路并联的正弦绕组。

三相正弦绕组以布线型式分为两节，一节是双层布线；另一节为单层及单双层布线。共收入绕组37例，而每例有接线示意图和端面布接线图，故共计彩色74幅。

2.1　三相正弦双层布线绕组端面布接线图

本节是双层叠式布线的三相正弦绕组，其布线型式与普通三相叠绕组相同，即上、下层是以线圈有效边在槽中所处层次表示，而线圈号则用该线圈所处下层槽号代表线圈号。但由于三相正弦绕组是将普通绕组的60°相带分裂为角形和星形部分，故又称为30°相带绕组，从而构成不同相位的角形绕组和星形绕组，并在接线时分别连接，然后再根据要求接成内角星形（⍋）或内星角形（⍍）。

本节三相正弦绕组每例由双图组成，其中图（a）是接线示意简化图，属辅图，用于辅助和指导绕组的接线；图（b）是主图，采用潘氏画法的绕组端面布接线图。故本节共收入双层叠式布线三相正弦绕组14例，含布接线彩图28幅。

2.1.1　60槽4极（$y=14$、$a_y=a_d=4$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=60$	绕组接法	⍋
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=15$
每组圈数	$S_d=3$	线圈节距	$y=14$
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=4$
极相槽数	$q=5$	Y联路数	$a_y=4$

△线圈数	$Q_d=36$	Y 线圈数	$Q_y=24$
△极相槽	$q_d=3$	Y 极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=12°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.937$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.973$

(2) 绕组布接线特点

本绕组为 60 槽定子，常用于功率大的电机，故多采用四路并联。每极相槽数为奇数（$q=5$），绕组采用不轮换排列，即 $q_d=3$、$q_y=2$，角形部分每极多占 1 槽。双层叠绕嵌线吊边虽多至 14，但一般定子的内腔都较大，嵌线难度不算大。线圈可用同尺寸线模绕制，角形部分线圈绕制三联组；星形部分线圈绕双联组。此外，由于 $q_y<q_d$，星形部分槽满率较高，为满足嵌线工艺要求，可能会降低电机的出力。

(3) 绕组改绕应用与换算

本绕组主要应用于如 JO2-91-4 等相类规格电动机的改绕。若正弦绕组仍按四路并联改绕时，改绕后各线圈数据可由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=0.625N_y$

　　　导线截面　$A'_y=0.85A_y$

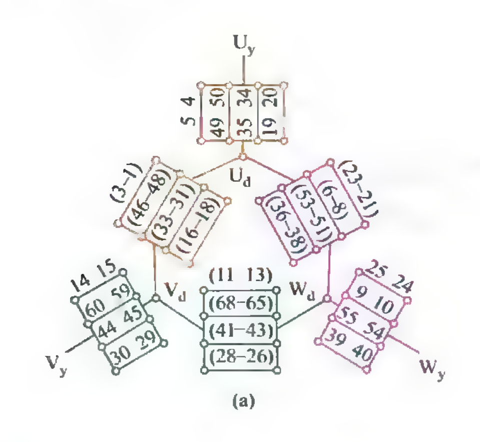
角形　线圈匝数　$W_d=0.417N_d$

　　　导线截面　$A'_d=1.2A_d$

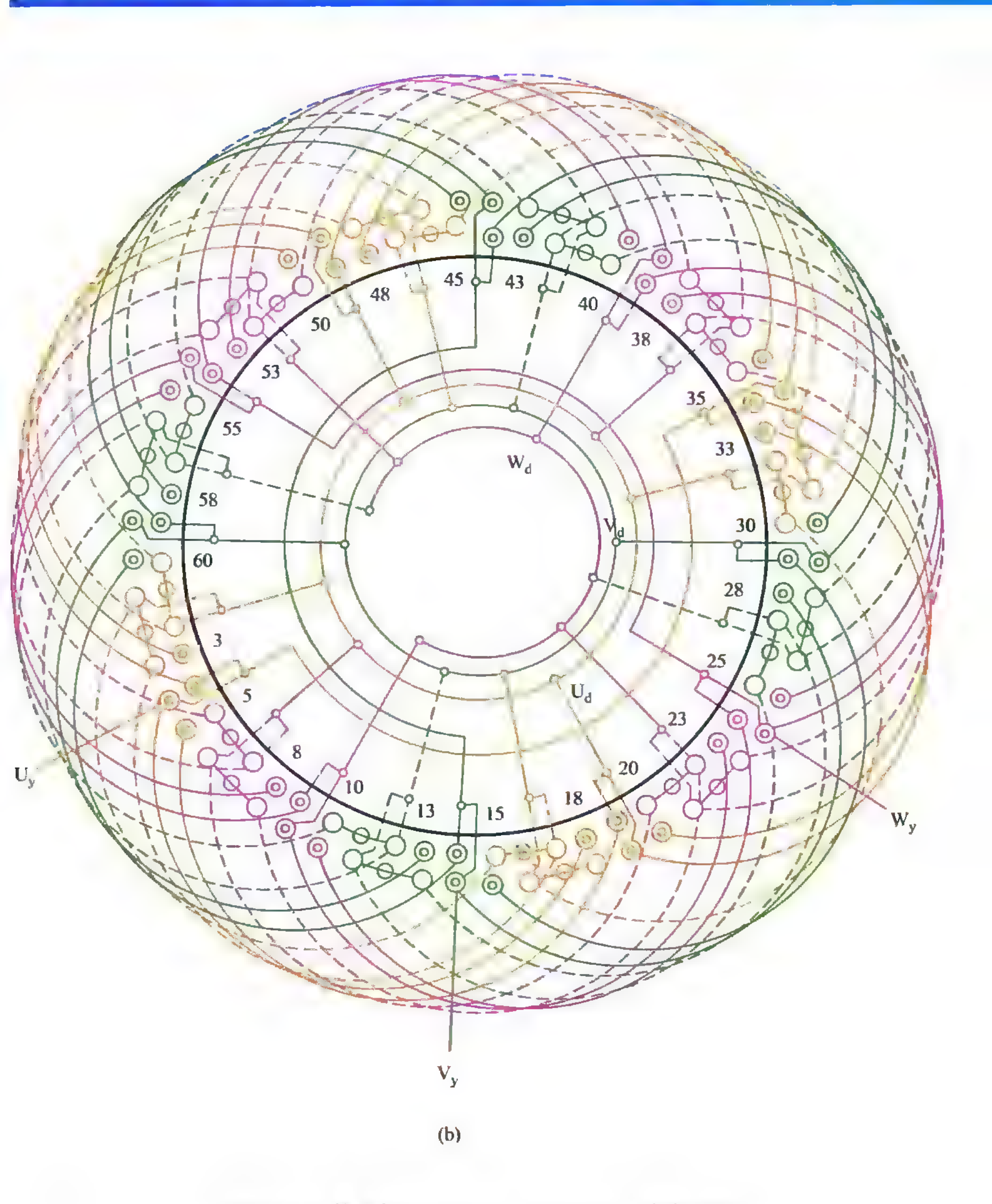
式中，N_y、N_d、A_y、A_d 由表 2-1 中公式计算。

(4) 绕组端面布接线

如图 2-1（a）、(b) 所示。



(a)



(b)

图 2-1　60 槽 1 极（$y=14$、$a_y=a_d=4$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.2 54槽6极（$y=8$、$a_y=a_d=3$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=54$　　电机极数 $2p=6$

总线圈数 $Q=54$　　绕组接法 内角星形

线圈组数 $u=36$　　绕组极距 $\tau=9$

每组圈数 $S_d=1$、2　　线圈节距 $y=8$

$S_y=2$、1　　△联路数 $a_d=3$

极相槽数 $q=3$　　Y联路数 $a_y=3$

△线圈数 $Q_d=27$　　Y线圈数 $Q_y=27$

△极相槽 $q_d=1\frac{1}{2}$　　Y极相槽 $q_y=1\frac{1}{2}$

每槽电角 $\alpha=20°$　　绕组系数 $K_{dpd}=0.96$

出线根数 $c=3$　　$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本例主要用于容量较大的电动机，每极相槽为奇数（$q=3$），即原绕组每极相有3只线圈，故可将其分裂成单、双圈二组，并按1212规律交替轮换分布。由于极数较多，故其分组也多，使改绕后的接线很烦琐。

(3) 绕组改绕应用与换算

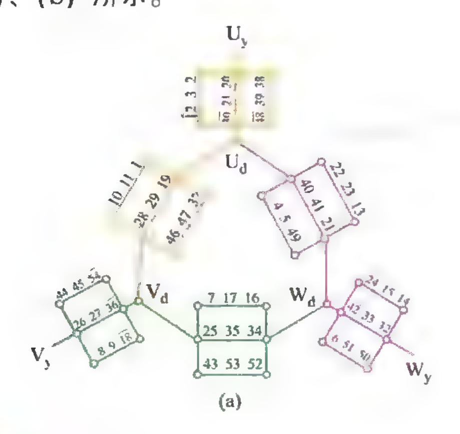
本绕组是由湖南杨师傅实修电机所提供资料绘制而成。应用实例有FVX180L-6。也可用于JO2L-62-6等电动机改绕，改绕的基本参数 N_y、N_d 和 A_y、A_d 由本章前述表2-1中公式计算，但线圈匝数由下式确定：

星形线圈匝数　$W_y=N_y/2$

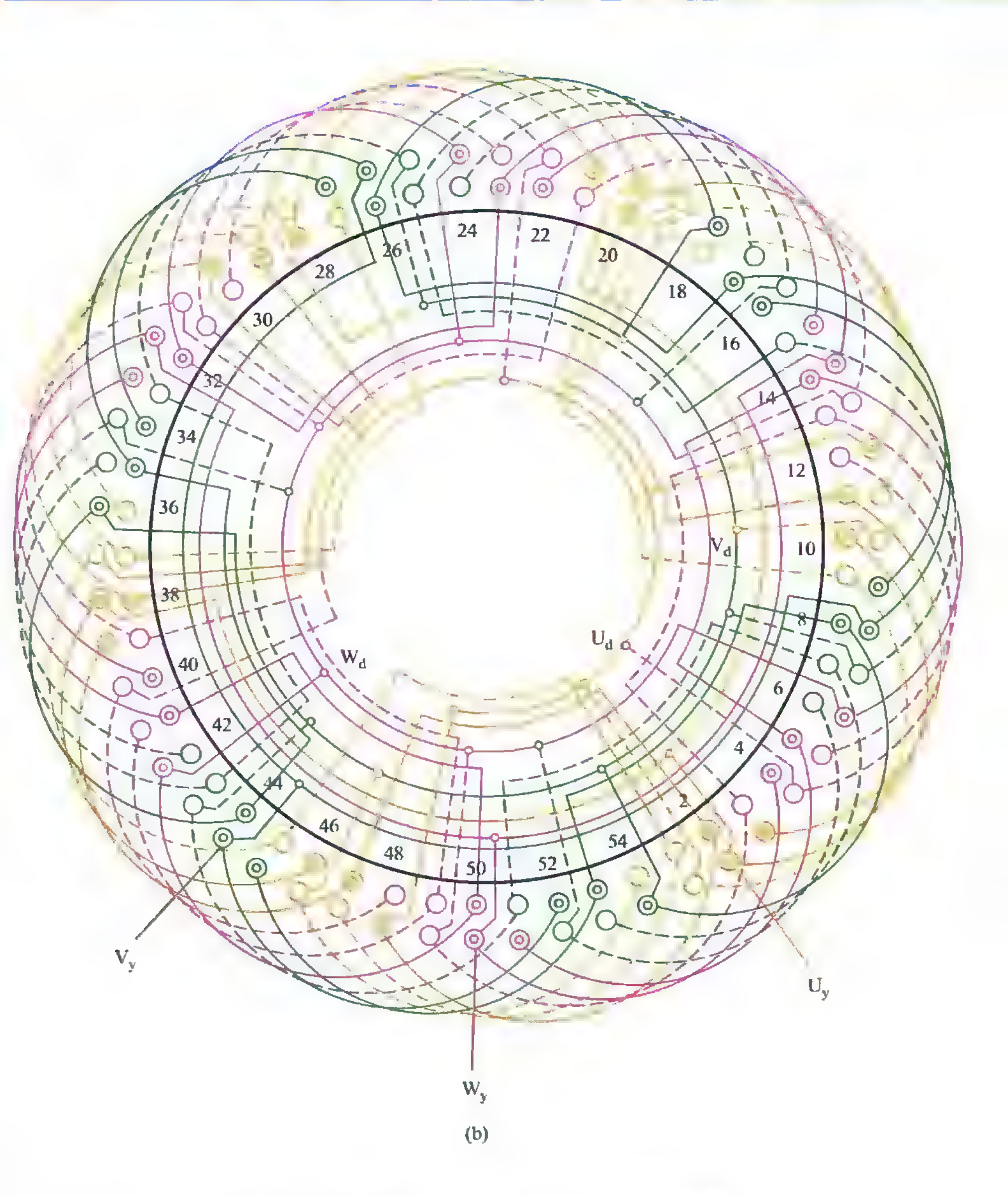
角形线圈匝数　$W_d=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-2 (a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 2 2　54 槽 6 极（$y=8$、$a_y=a_d=3$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.3 54槽8极（$y=6$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=54$	绕组接法	∆̲
线圈组数	$u=48$	绕组极距	$\tau=6\frac{3}{4}$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1、2$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=2\frac{1}{2}$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=30$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{4}$
每槽电角	$\alpha=26.6°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.985$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.965$

(2) 绕组布接线特点

本例绕组为二路并联，双层叠式显极布线，常用于中等容量电动机。由于每极相槽数和每槽电角度均为分数，三相进线无法满足相距120°电角的要求，但对运行不致产生明显影响。此外，两套绕组占槽不等，即在每极距内的星形部分比角形多占1/4槽，为此，角形部分每只线圈为1组，而星形部分则采用分数线圈安排，每4组增加1只线圈，从而使每相中的八极绕组由8只单圈组和2只双圈组构成。

(3) 绕组改绕应用与换算

正弦绕组基本参数 N_y、N_d、A_y、A_d 由前述表2-1中公式计算。本例 $q_y \neq q_d$，线圈匝数和导线截面积由下面确定：

星形	线圈匝数	$W_y=0.45N_y$
	导线截面积	$A'_y=0.625A_y$
角形	线圈匝数	$W_d=0.563N_d$
	导线截面积	$A'_d=0.889A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-3（a）、(b）所示。

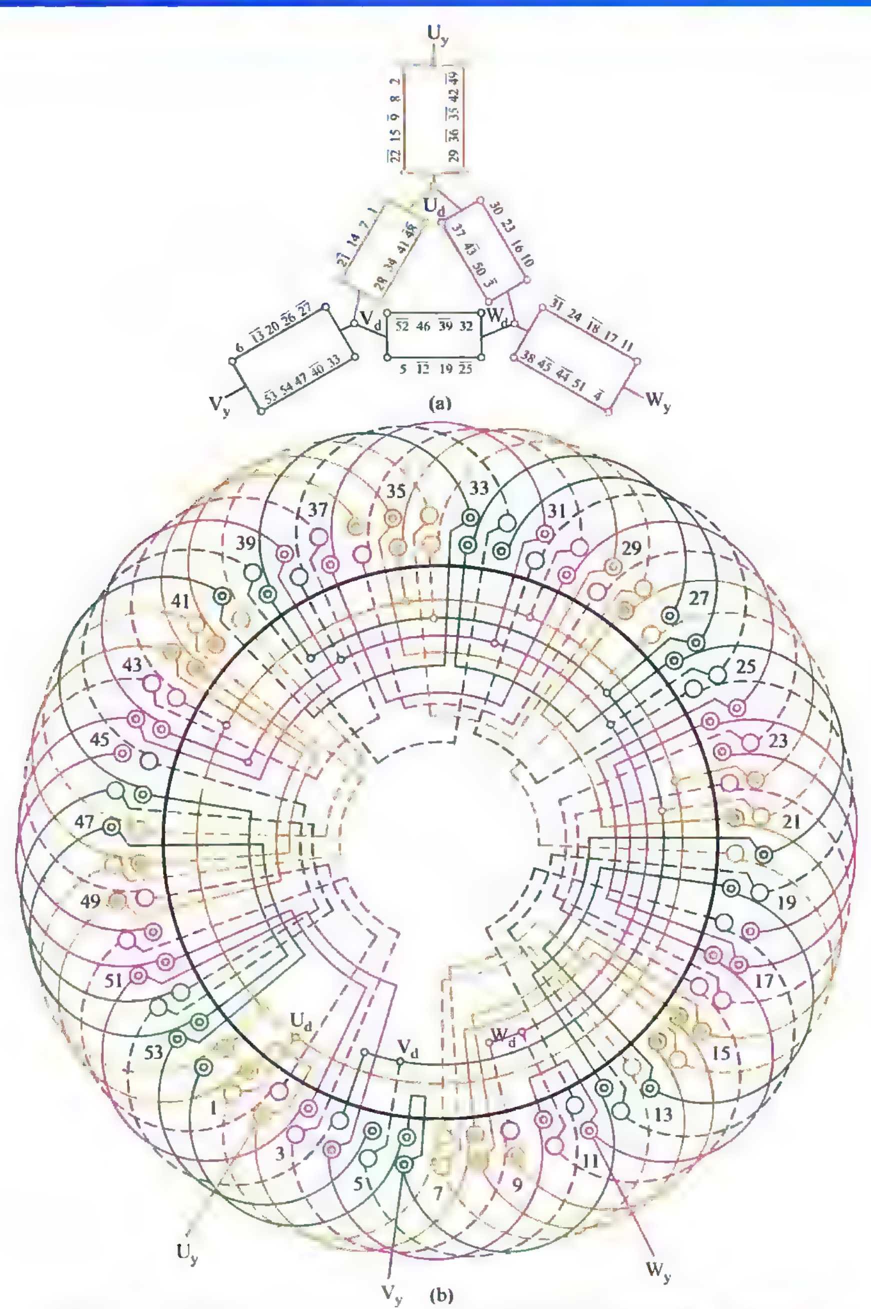


图 2-3　54 槽 8 极（$y=6$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.4 54槽8极（$y=6$、$a_d=a_y=2$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=54$	绕组接法	△Y（内星角形）
线圈组数	$u=48$	绕组极距	$\tau=6\frac{3}{4}$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1、2$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=2\frac{1}{4}$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=30$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{4}$
每槽电角	$\alpha=26.6°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.985$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.965$

(2) 绕组布接线特点

54槽定子属小型电机中功率较大的电机，故常采用多路并联，但绕制八极绕组时极相占槽为分数，只能用二路并联，而线圈节距较短，嵌线吊边数不多，不存在嵌线困难的问题，故正弦绕组也采用双层叠绕。在显极绕组中，八极绕组每相共有8个极相组，角形部分均为单圈组；星形部分的8组中有2个双圈组，属两套绕组占槽比不等的正弦绕组，但双圈组对称分布于定子铁芯。线圈用同尺寸线模绕制，但两种线圈的匝数及线径都不同，嵌线时必须注意，勿使弄错。

(3) 绕组改绕应用与换算

改绕是以相同并联路数（$a=2$）为基础进行换算。正弦绕组的基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 由表2-1中公式计算。因 $q_d \neq q_y$，故改绕后的线圈匝数和导线截面积要由下式确定。

星形	线圈匝数	$W_y=0.45N_y$
	导线截面积	$A'_y=1.11A_y$
角形	线圈匝数	$W_d=0.563N_d$
	导线截面积	$A'_d=0.888A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-4（a）、（b）所示。

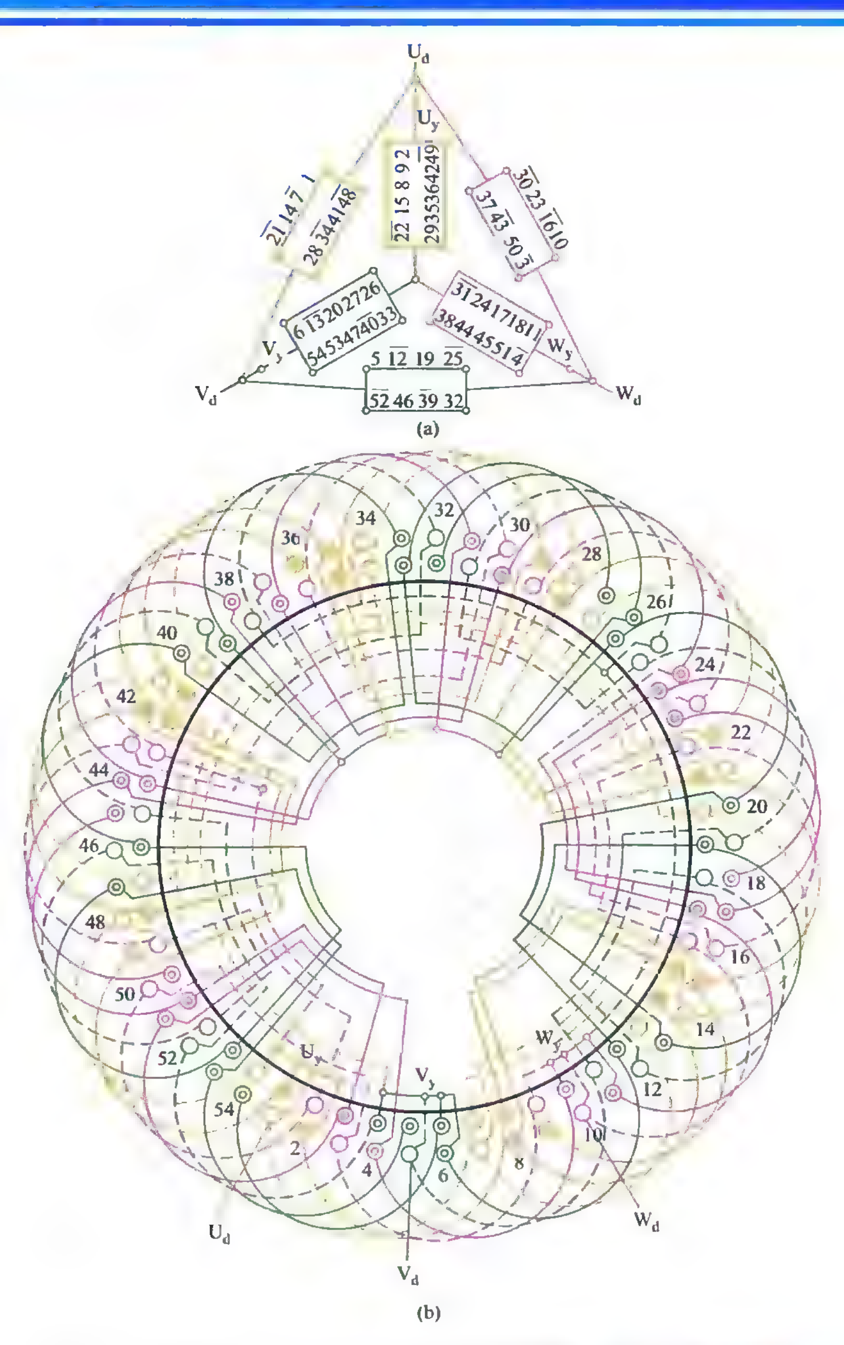


图 2.4　54 槽 8 极（$y=6$、$a_d=a_y=2$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

2.1.5 48槽4极（$y=11$、$a_d=a_y=4$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=48$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=11$
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=4$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=4$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=24$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=15°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.957$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.957$

(2) 绕组布接线特点

48槽四路并联绕组在三相电动机中一般都属较大的中容量电动机。双层布线时嵌线吊边数为11，因其内腔较大，嵌线也并未显十分困难。改绕正弦后，两套绕组占槽相等，每组均由2只交叠线圈组成，且线圈由同一线模绕制，容易造成两种不同参数线圈混淆，故嵌线时要特别注意区分。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组主要应用于JO2L-72-4等四路并联的电动机改绕。正弦绕组基本参数可由前述表2-1中公式计算；而本例$a_d=a_y$，改绕后的线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y/2$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-5 (a)、(b) 所示。

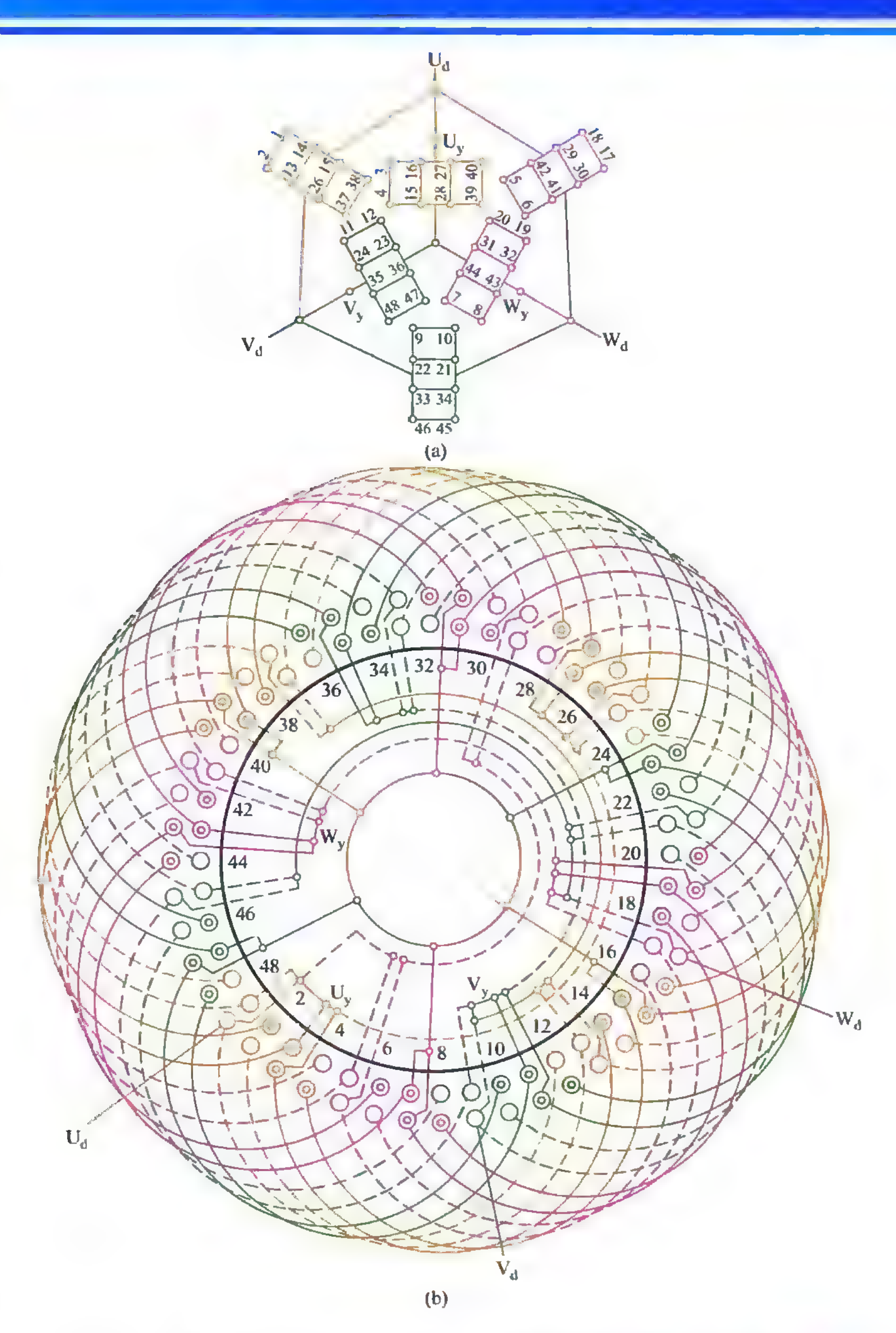


图2.5 48槽4极（$y=11$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

2.1.6 48槽4极（$y=11$、$a_y=a_d=4$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=48$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=11$
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=4$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=4$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=24$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=15°$
每槽电角	$\alpha=2$	绕组系数	$K_{dpd}=0.956$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.956$

(2) 绕组布接线特点

本例绕组基本结构与上例是相同的，不同的是接线方式，即上例是△接法，本例则改用△接法。无论从工艺性和技术性能来说两种接法都一样，但若三相不平衡，则△形接法就可能产生环流而使电动机运行性能变差。就这点而言则本例优于上例。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于如JO3-250S-4等四路并联的电动机改绕。正弦绕组基本参数计算可参考前述表2-1。而本例$a_y=a_d$，改绕后的线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y/2$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-6 (a)、(b) 所示。

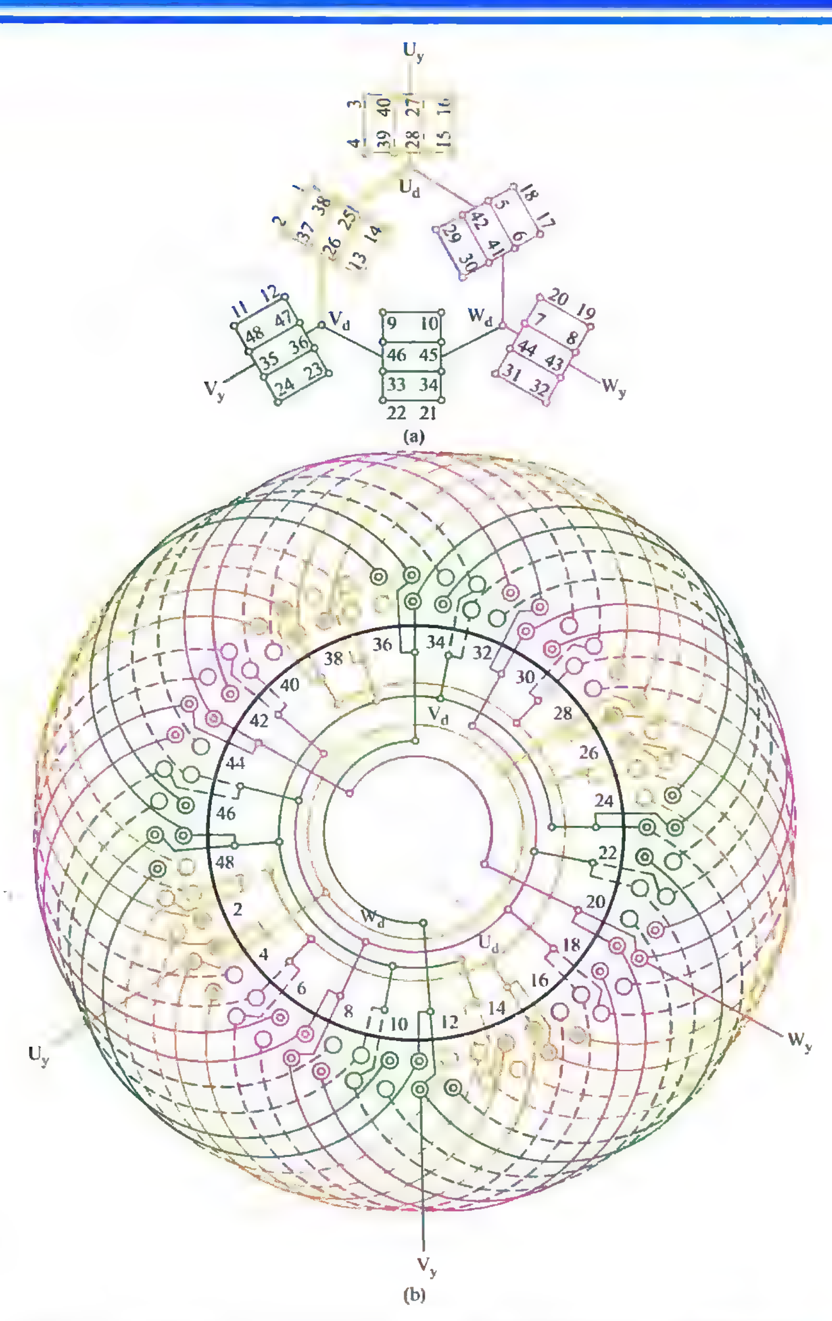


图2-6　48槽4极（$y=11$、$a_y=a_d=4$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.7 42槽2极（$y=14$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=42$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=42$	绕组接法	$\measuredangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=21$
每组圈数	$S_d=4$	线圈节距	$y=14$
	$S_y=3$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=7$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=4$	Y极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=8.57°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.818$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.84$

(2) 绕组布接线特点

本例采用双层叠式布线，线圈选用节距较小，故嵌线吊边数也较少，即工艺性较优。而布线上采用两套绕组占槽不等，即角形每组4圈，星形每组3圈，故属4、3圈轮换排列。绕组是二路并联，即同相仅有两组线圈，接线时反极性并联。由于每槽所占电角度为分数，星角两套绕组互差不等于30°相位，但相差极微，不致影响正弦绕组性能。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例应用于JO2-91-2、JO2L-92-2等二路并联的电动机改绕正弦绕组，改绕后参数由本章前述表2-1中公式计算。由于$q_y \neq q_d$，故线圈匝数和导线应重新确定：

星形	线圈匝数	$W_y=0.583N_y$
	导线截面	$A'_y=0.857A_y$
角形	线圈匝数	$W_d=0.438N_d$
	导线截面	$A'_d=1.143A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-7（a）、(b）所示。

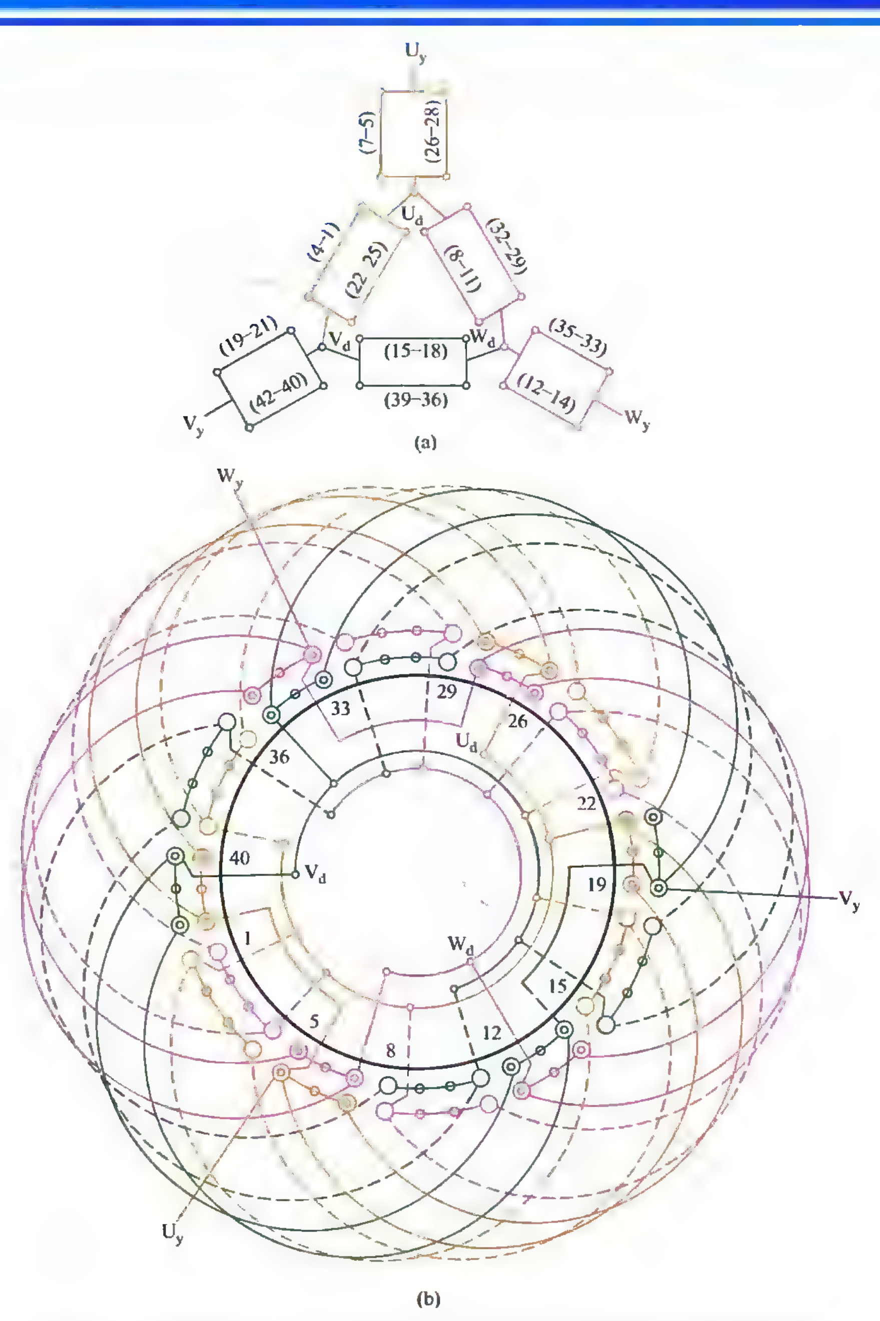


图 2-7 42 槽 2 极（$y=14$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.8 42槽2极（$y=19$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=42$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=42$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=21$
每组圈数	$S_d=4$	线圈节距	$y=19$
	$S_y=3$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=7$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=4$	Y极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=8.57°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.935$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

（2）绕组布接线特点

本例双叠绕组选用较大的节距，故绕组系数较高，但线圈跨距大，使嵌线显得困难。两套绕组占槽不等，正弦绕组采用不轮换排列；角形部分每组4圈，星形部分每组3圈，比角形部分少占1槽。同套绕组中每相仅两线圈组，采用二路并联时用反方向接线则显得较为方便。但由于每槽所占电角度为分度数，虽两套绕组互差不等于30°，但相差极微，不致造成不良影响。

（3）绕组改绕应用与换算

本例应用于Y280S-2等二路并联的改绕，正弦绕组参数计算可参考本章前述表2-1。而 $q_y \neq q_d$，故改绕后线圈匝数及导线应重新确定：

星形	线圈匝数	$W_y=0.583N_y$
	导线截面	$A_y'=0.857A_y$
角形	线圈匝数	$W_d=0.438N_d$
	导线截面	$A_d'=1.143A_d$

（4）绕组端面布接线

如图2-8（a）、（b）所示。

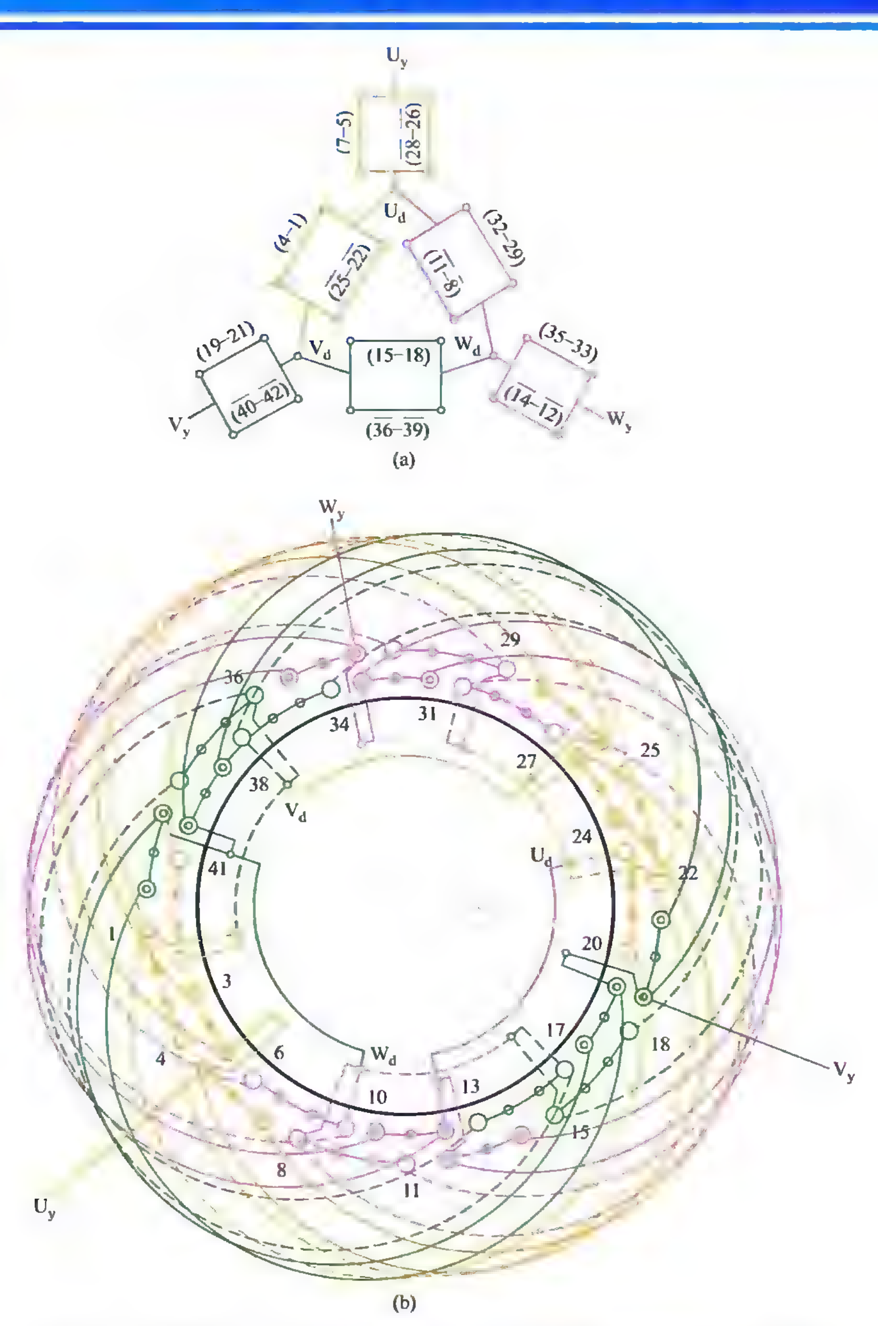


图 2-8　42 槽 2 极（$y=19$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.9　36 槽 2 极（$y=17$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\angle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=3$	线圈节距	$y=17$
	$S_y=3$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=6$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=18$	Y 线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=3$	Y 极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.96$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本例是双层叠式显极布线，两套绕组占槽相等，每组均由 3 只线圈组成，线圈由同尺寸线模绕制，但两套绕组的线圈参数不同。线圈端部排列整齐、美观；但线圈跨距大，嵌线吊边数多达 17，嵌线较困难。

(3) 绕组改绕应用与换算

本绕组应用于如 JO2-72-2 等双层绕组或 JO3-180M1-2 等单层绕组一路接线电动机改绕正弦。基本参数由表 2-1 中公式计算。线圈匝数由下式确定

星形　线圈匝数　$W_y=0.5N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=0.5N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图 2-9（a)、(b）所示。

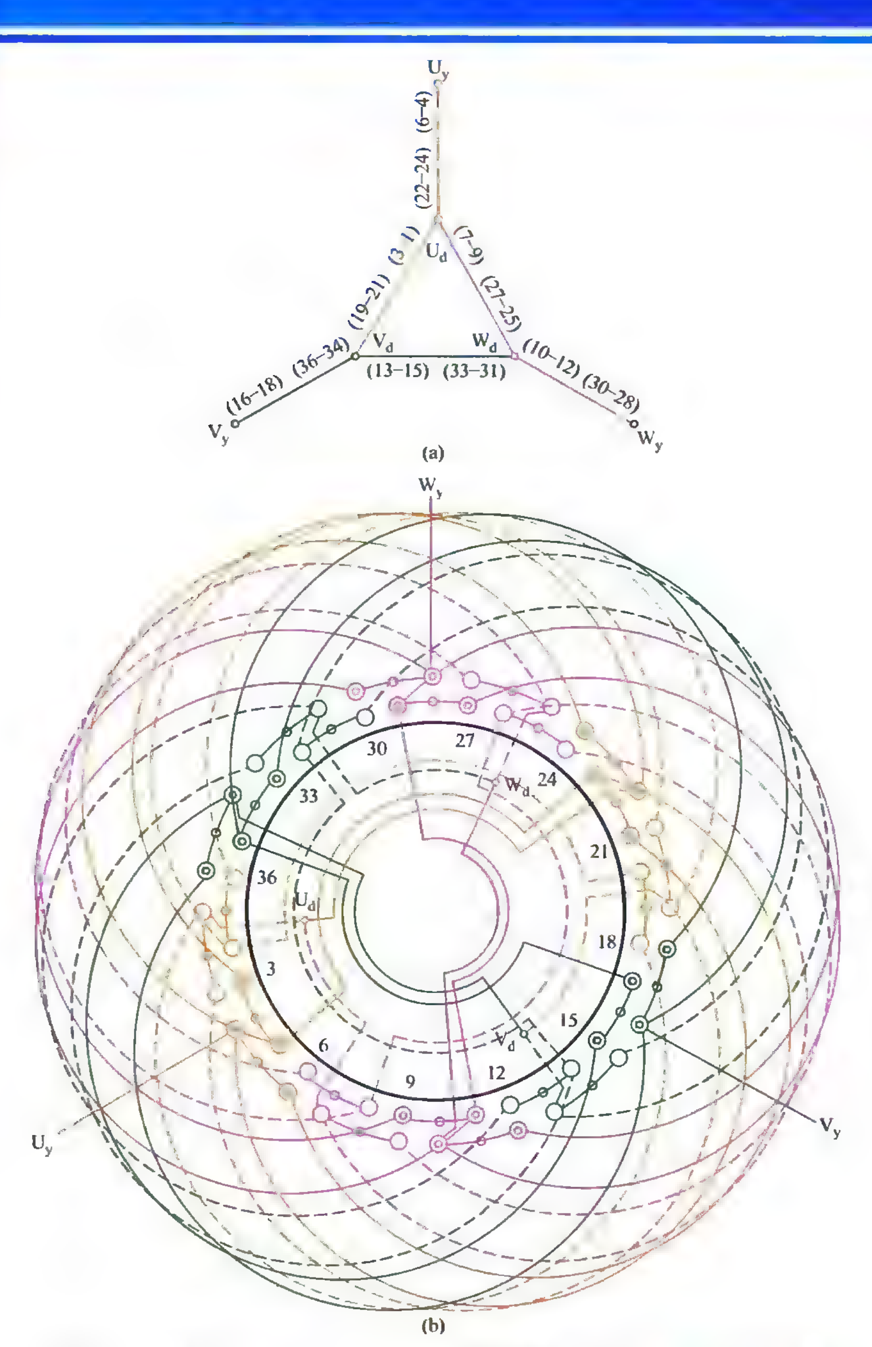


图 2-9　36 槽 2 极（$y=17$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.10 36槽2极（$y=17$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=3$	线圈节距	$y=17$
	$S_y=3$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=6$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=3$	Y极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.956$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.956$

(2) 绕组布接线特点

本例结构与上例相同，都采用双层叠绕显极布线，且星、角两套绕组占槽也相等，即每组均由3只线圈组成，但星、角线圈匝数不等而尺寸相同。与上例不同的是本例为$\triangle$形接法。本绕组可用于单层改双层，改用双层则可使绕组排列整齐，端部美观；但大跨距造成吊边数多达17个，给嵌线造成困难。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例应用于一路串联接线的电动机改绕正弦绕组，基本参数由前述表2-1中公式计算，而$q_d=q_y$，改绕后线径选取仍由前面计算决定，但线圈匝数必须重算：

星形　线圈匝数　$W_y=0.5N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=0.5N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-10 (a)、(b) 所示。

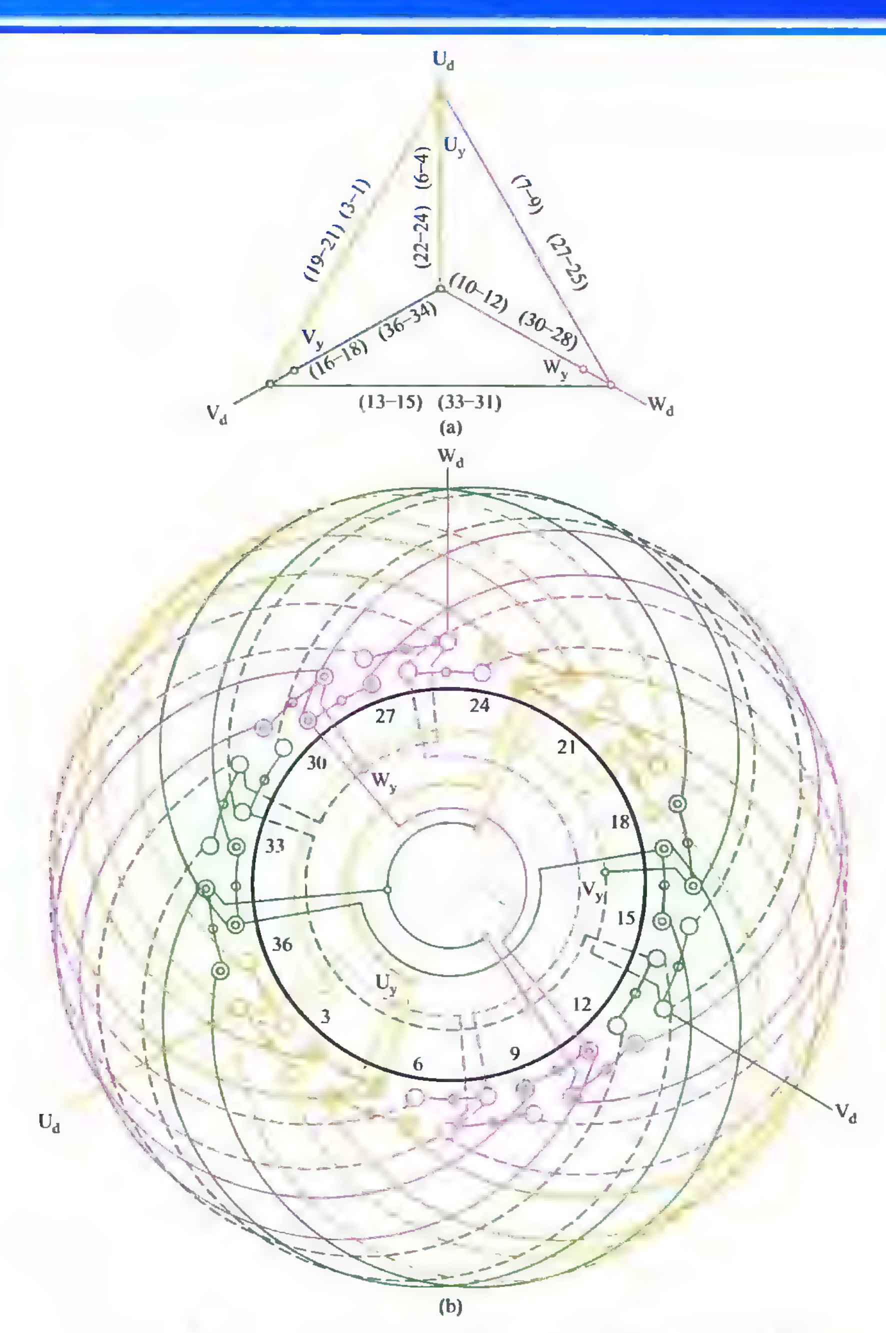


图2-10　36槽2极（$y=17$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

2.1.11 36 槽 4 极（$y=8$、$a_d=a_y=1$、$q_d=q_y$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$、1	线圈节距	$y=8$
	$S_y=1$、2	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=18$	Y 线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y 极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.96$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

（2）绕组布接线特点

本例采用双层叠式显极布线，两套绕组占槽相等，即占槽比 $\iota=1$，但由于每极相占槽数为奇数（$q=3$），则每组线圈为分数（$S_d=S_y=1\frac{1}{2}$），故线圈安排轮换排列，如在第 1 极距内角形部分比星形多占 1 槽，第 2 极则少占 1 槽，从而形成角形线圈按 2 1 2 1，而星形按 1 2 1 2 的规律分布。但线圈节距相同，可用同规格线模绕制。嵌线吊边数为 8，从第 9 只线圈开始整嵌；线圈数量多，嵌绕较耗工时。

（3）绕组改绕应用与换算

本绕组宜用于 JO-72-4 等一路接法的双层绕组的改绕。正弦绕组基本参数由表 2-1 中公式计算，而本例 $q_d=q_y$，故改绕后线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=0.5N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=0.5N_d$

（4）绕组端面布接线

如图 2-11（a）、（b）所示。

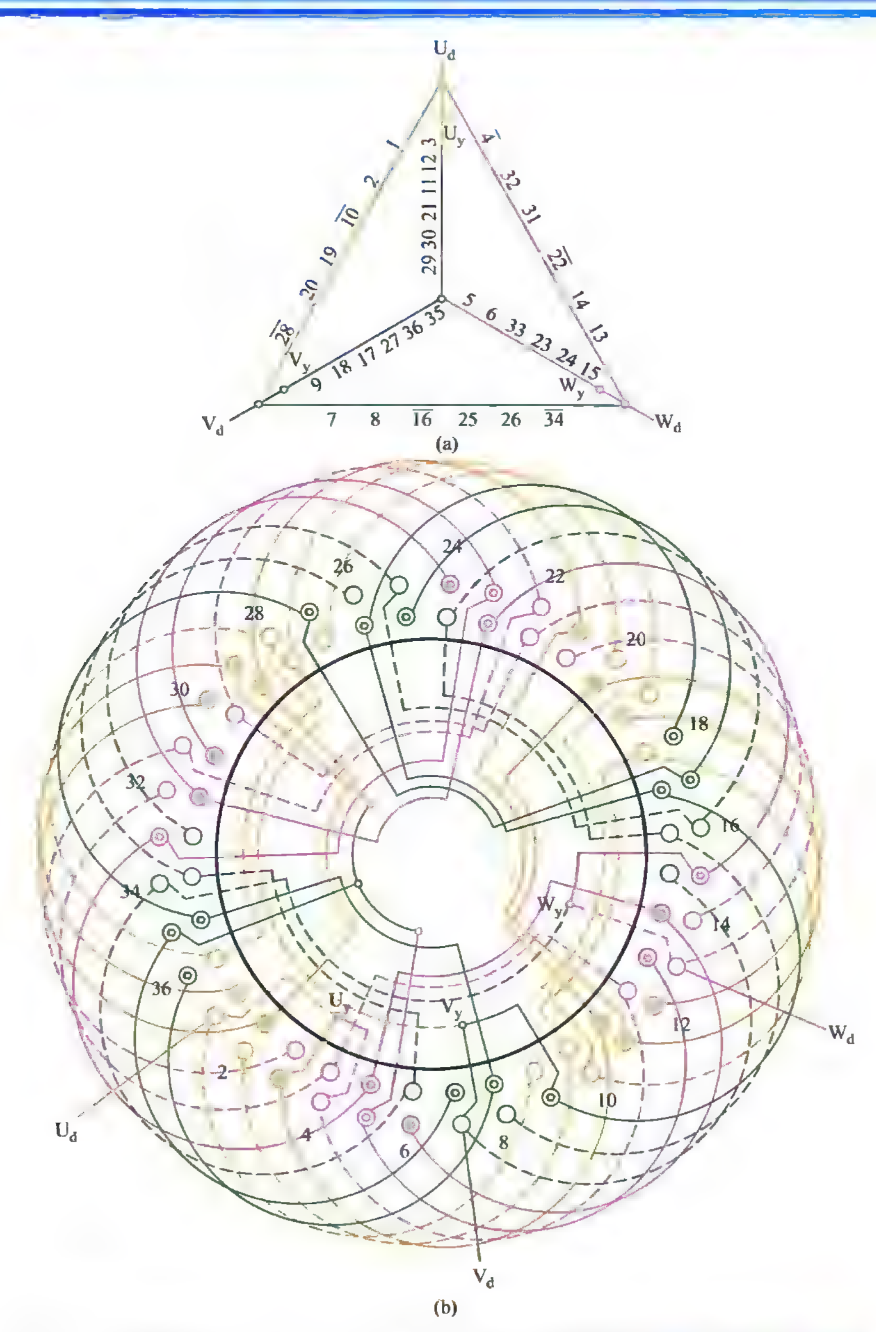


图 2-11　36槽4极（$y=8$、$a_d=a_y=1$、$q_d=q_y$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

2.1.12 36槽4极（$y=8$、$a_d=a_y=1$、$q_d \neq q_y$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	△
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=8$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=24$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.926$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.985$

(2) 绕组布接线特点

本绕组每极相槽数也是奇数（$q=3$），与上例不同的是两套绕组采用不同的占槽，即 $i \neq 1$；角形部分占总槽数的2/3，星形部分仅占1/3；角形绕组每组线圈数为2，星形时每组只有1只线圈，故无需交替轮换安排，但两套绕组相位差仍保持30°相角。此外，由于两套绕组占槽比过大，会造成槽满率相差过大而使改绕后功率减少较多，电机铁芯不能充分利用而造成浪费。本例仅作为 $q=$ 奇数，正弦绕组不轮换排列的示例。

(3) 绕组改绕应用与换算

本绕组可用于JO-72-4等一路接线的电动机改绕，正弦绕组参数由表2-1中公式计算；而 $q_d \neq q_y$，故改绕后线圈数据由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=0.75N_y$

　　　导线截面　$A'_y=0.666A_y$

角形　线圈匝数　$W_d=0.375N_d$

　　　导线截面　$A'_d=1.33A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-12（a）、（b）所示。

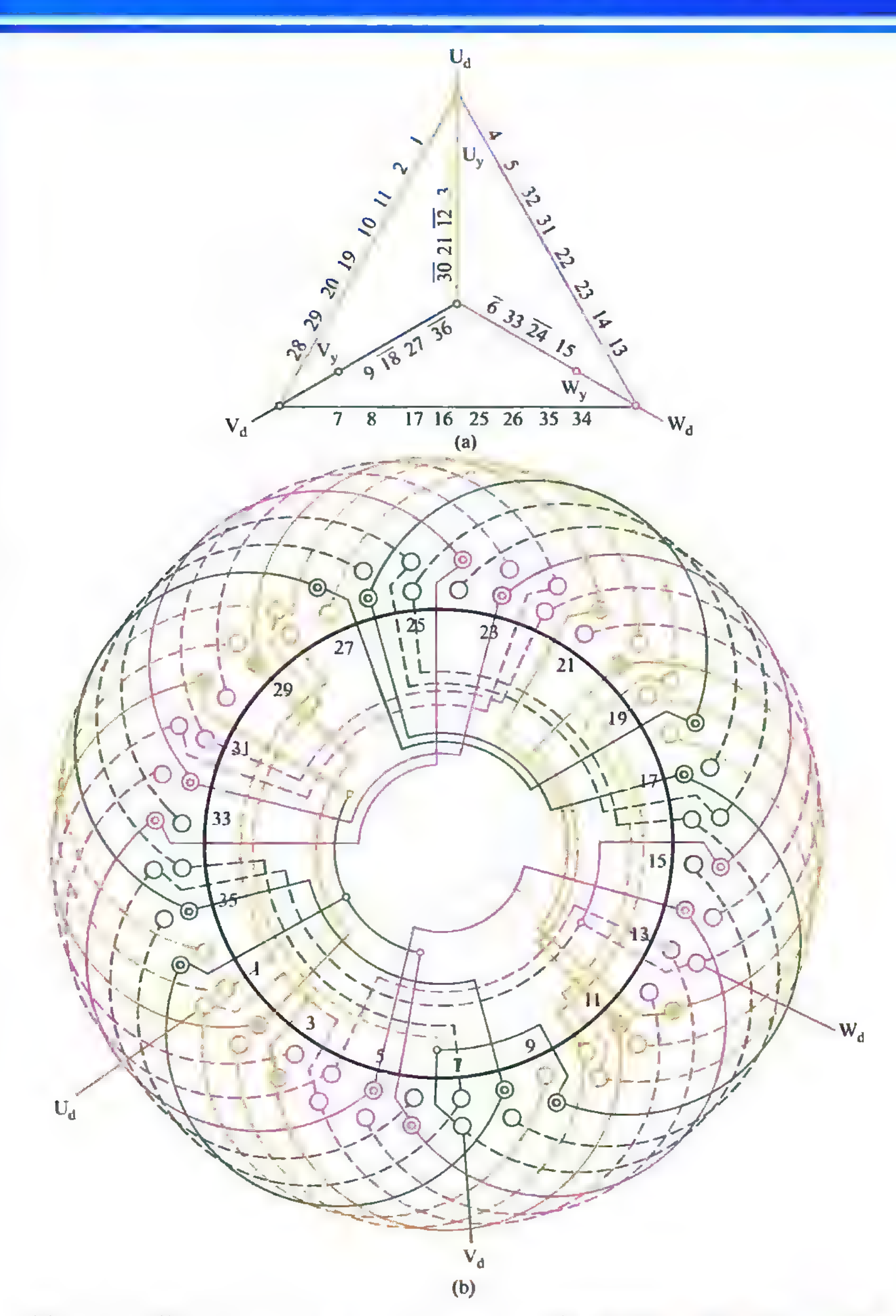


图 2 12　36 槽 4 极（$y=8$、$a_d=a_y=1$、$q_d \neq q_y$）内星角形正弦绕组双层叠式布线

2.1.13 36槽4极（$y=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	内角星形符号
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$、1	线圈节距	$y=8$
	$S_y=1$、2	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.96$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

（2）绕组布接线特点

本绕组是双层叠式显极布线，每极相槽数为奇数（$q=3$），改绕正弦绕组后，两套绕组极相占槽为分数，线圈组为不等圈安排，即每相为单双圈轮换分布，使两套绕组的线圈数目相等。但每一极距范围内两套绕组共占3槽，本例采用第1极下角形占2槽，星形占1槽，第2极则反之，角形占1槽而星形占2槽，余者类推。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于如Y-160L-4等原绕组为一路接线的电动机改绕。改绕后正弦参数由表2-1中公式计算。因两套绕组支路数相同（$a_y=a_d$）且线圈数相同，故改绕后导线截面积从上计算，而线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=0.5N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=0.5N_d$

（4）绕组端面布接线

如图2-13（a）、（b）所示。

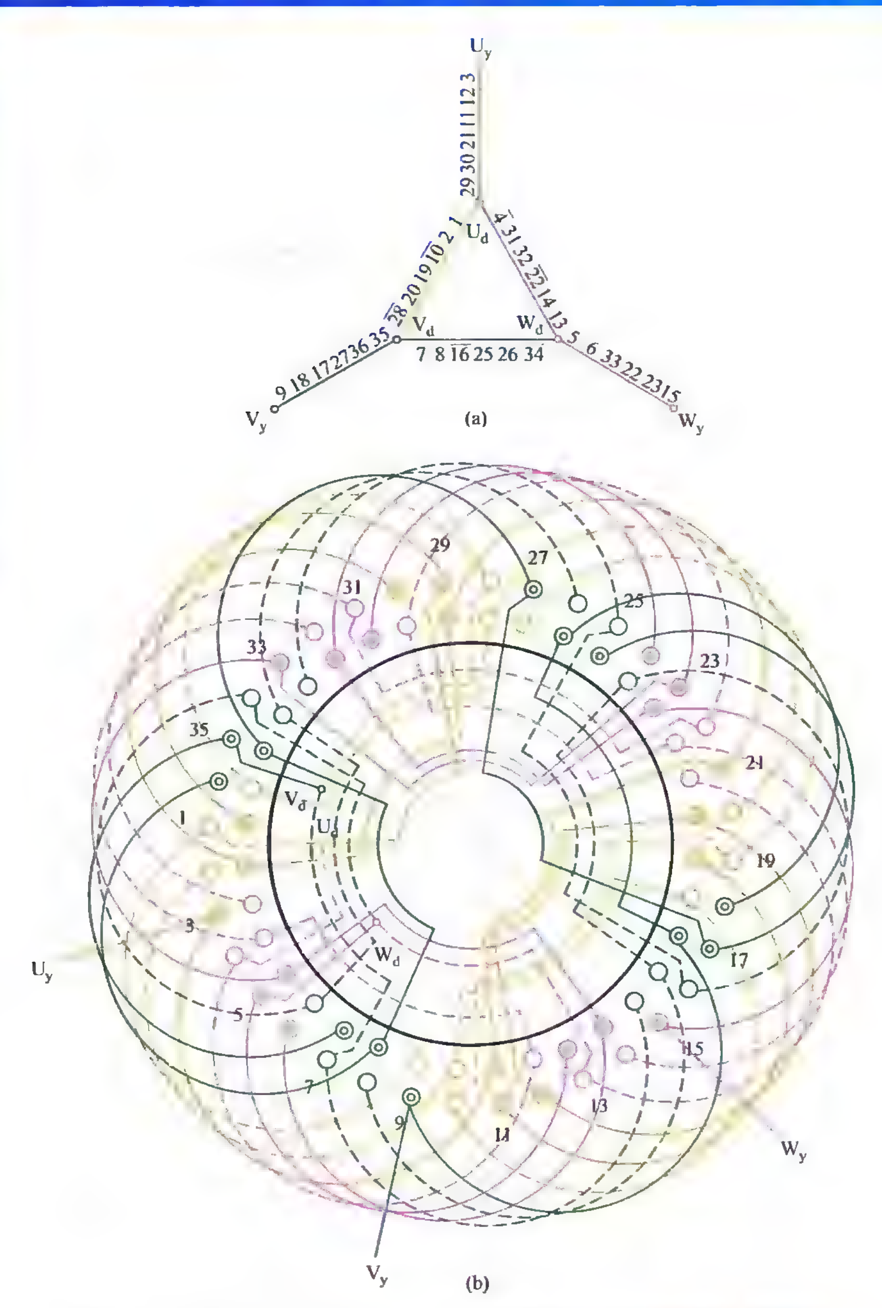


图 2-13　36 槽 4 极（$y=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.1.14 36槽4极（$y=8$、$a_y=2$、$a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$、1	线圈节距	$y=8$
	$S_y=1$、2	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.96$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本例星形和角形两部分绕组采用并联路数不等（$a_y \neq a_d$）的接线方式，但两部分的线圈数仍是相等的，如图2-14（a）所示。在线圈安排上，由于 $q_y=q_d=1\frac{1}{2}$，即两部分绕组极相槽为分数，归纳后构成单、双圈，故采用1 2 1 2或2 1 2 1的轮换排列分布。此绕组虽用轮换排列，但接线较为简练而工艺性尚好，且对高次谐波有较强的抑制效果。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例适用于一路接法的原绕组改绕。正弦绕组基本参数由表2-1中公式计算。改绕后线圈参数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

　　　导线截面　$A_y'=A_y/2$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d/2$

　　　导线截面　$A_d'=A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-14（a）、（b）所示。

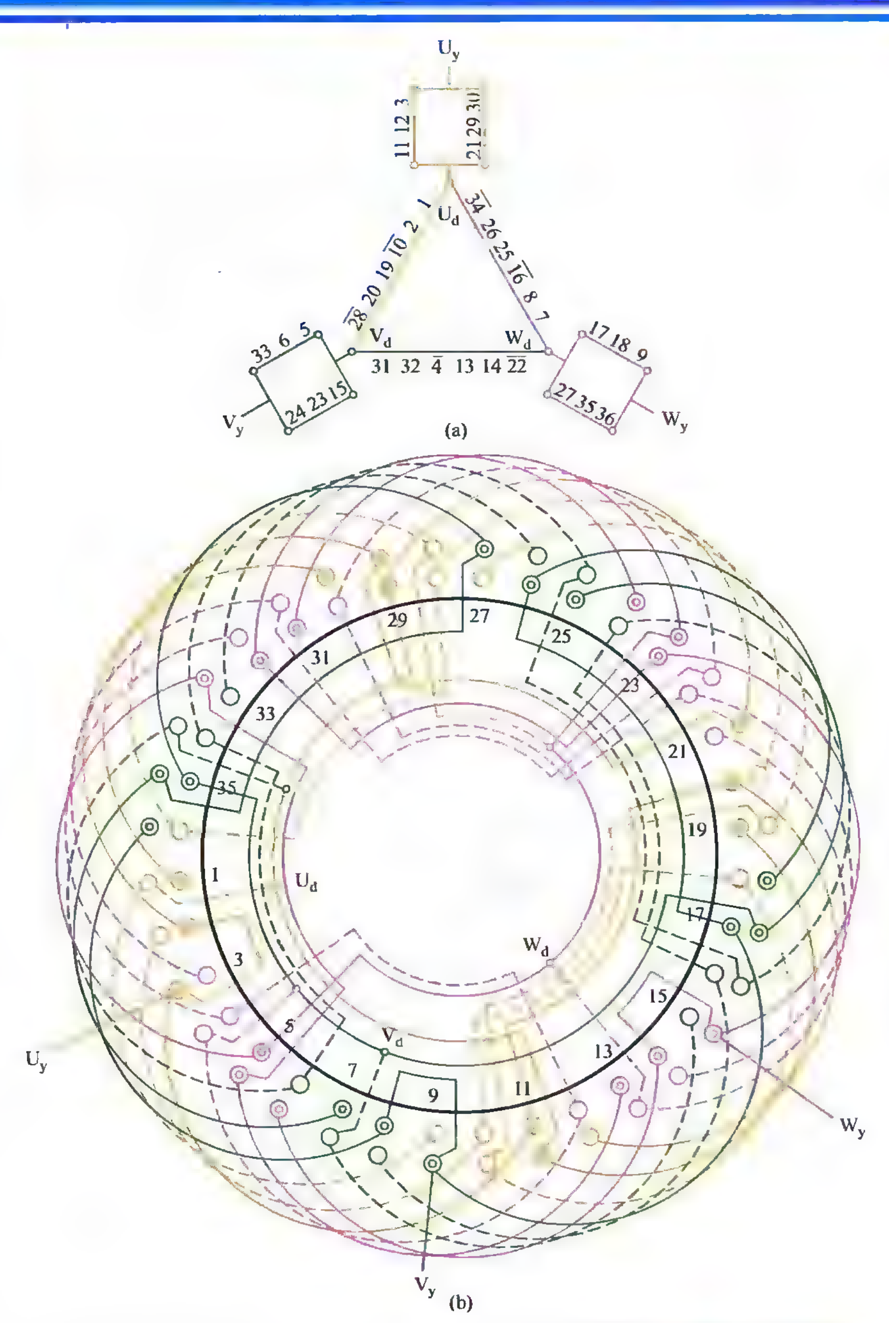


图 2-14　36 槽 4 极（$y=8$、$a_y=2$、$a_d=1$）内角星形正弦绕组双层叠式布线

2.2 三相正弦单层及单双层布线绕组端面布接线图

本节三相正弦绕组有两种布线型式。

(1) 正弦绕组单层布线

正弦绕组单层布线均采用分层交叠嵌线，即先将角形线圈交叠嵌入相应槽内构成底层绕组；再把星形线圈交叠嵌入相应槽中成为面层，从而形成不规则的端部双平面绕组。所以，单层布线的层次是指线圈端部的层次，而非双层绕组的槽内层次。但是，单层线圈仍嵌于两槽，而不能像双层那样以层次有效边来代表圈号，因此，在图（a）中标示的线圈号定名便作如下规定：即正摆视向（绕组图平放，使线圈端部弧线靠近身边）时，该线圈左侧有效边所在槽号代表线圈号。

(2) 正弦绕组单双层布线

单双层绕组是指一台电机中既有单层槽又有双层槽的混合式布线。由于正弦绕组由两套绕组构成，并采用分层布线，先嵌入角形部分的线圈，完成后再嵌星形的线圈。因此，单双层布线的正弦绕组，其双层线圈是以槽中所处位置表示上、下层次，即交叠布线时，双层线圈以下层边所在槽为线圈号；若是双层同心线圈，或单层线圈，无论处于何种层次，都以单层线圈定名线圈号，即左侧有效边所在槽号为线圈号。

此外，对于单双层正弦绕组的布线型式是按星形和角形两部分分别定名的；例如图 2-15 所示，其星形部分是同心交叉布线；而角形另用链式布线。

本节收入单层正弦绕组 8 例、单双层正弦绕组 15 例，共计绕组 23 例、彩图 46 幅。

2.2.1 54槽6极（$y_d=8$、$a_y=a_d=3$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线*

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=54$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=45$	绕组接法	内角星形
线圈组数	$u=36$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=7$、8、9
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=3$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=3$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=27$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.985$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本绕组为单双层显极布线，常用于容量较大的电动机。每极相槽数为奇数（$q=3$），两套绕组占槽不相等，绕组匝数采用正弦规律分布。角形和星形采用不同布线型式：角形部分由每组1只半槽线圈构成单层链式绕组；星形部分则用单、双圈构成单层同心交叉式绕组，其中同心小线圈和单圈是不同尺寸，但数据相同，即 $W_{y2}=W_{y3}$；同心大线圈则为单层线圈。本绕组不但极数较多，而线圈有三种节距，其线圈匝数、线径也不相同，故绕制线圈及嵌线、接线要特别注意。

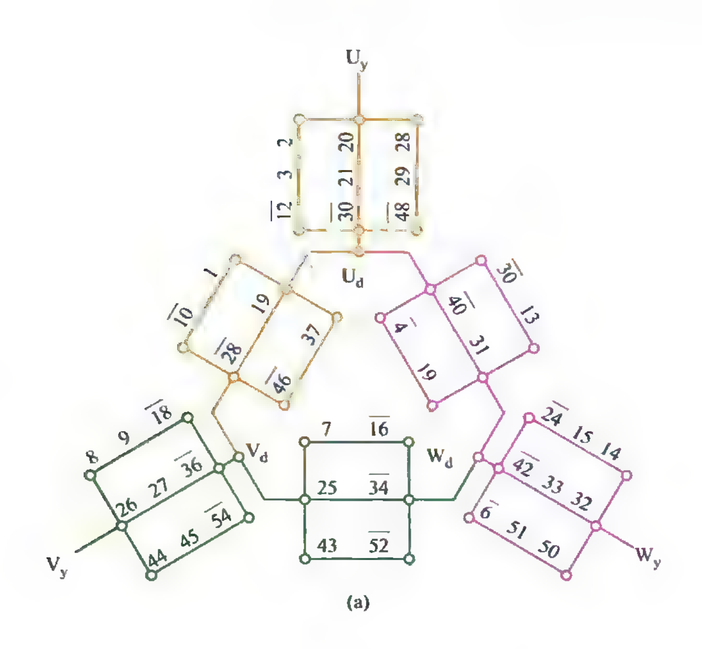
(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于如JO2L-62-6等三路并联的电动机改绕。正弦绕组基本参数由表2-1中公式计算，而 $a_y=a_d$，线圈数据由下式确定：

星形	同心单层线圈匝数	$W_{y1}=N_y$
	同心双层线圈匝数	$W_{y2}=0.347N_y$
	双层单线圈匝数	$W_{y3}=0.347N_y$
角形	双层线圈匝数	$W_d=1.185N_y$

(4) 绕组端面布接线

如图 2-15 (a)、(b) 所示。



(a)

注：标题解释　　本例标题"同心交叉链式"是指星、角两部分采用不同布线型式，即Y形是单、双圈分布的同心交叉式；△形是单链式故称。

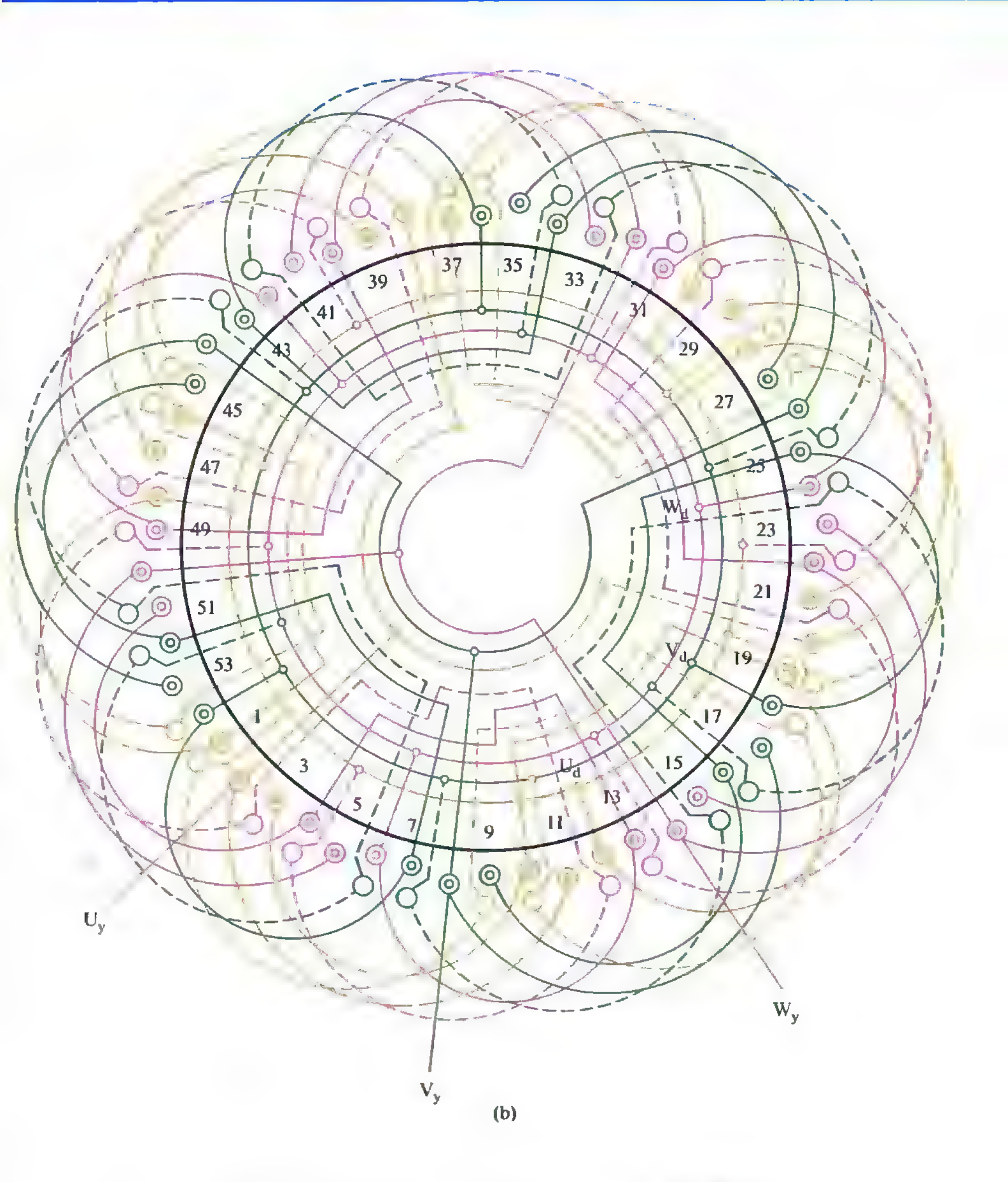


图 2 15　54 槽 6 极（$y_d=8$、$a_y=a_d=3$）内角星形
正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

2.2.2 48槽4极（$y_d=11$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\triangle\!\!\!\!\!\angle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=1$、2	线圈节距	$y=10$、12
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=15°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.977$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.977$

(2) 绕组布接线特点

本例为显极式单双层布线，每极每相槽数为偶数，两套绕组均用单双圈同心交叉式绕组构成，单双圈轮换安排。本绕组由双层叠式演变而来，总线圈数比双层布线减少 12 只，嵌线时吊边数仅为 3 ，较双叠绕组减少 8 只，故具有嵌线方便、节省工时等特点。接线为二路并联，常用于功率稍大的电动机。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于 JO2L-82-4 等二路并联的电动机改绕三相正弦绕组，其基本参数 N_y、N_d、A_y、A_d 由表 2-1 中公式求取，各线圈匝数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$　　角形　单层线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=N_y/2$　　　　双层线圈匝数　$W_{d2}=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图 2-16 (a)、(b) 所示。

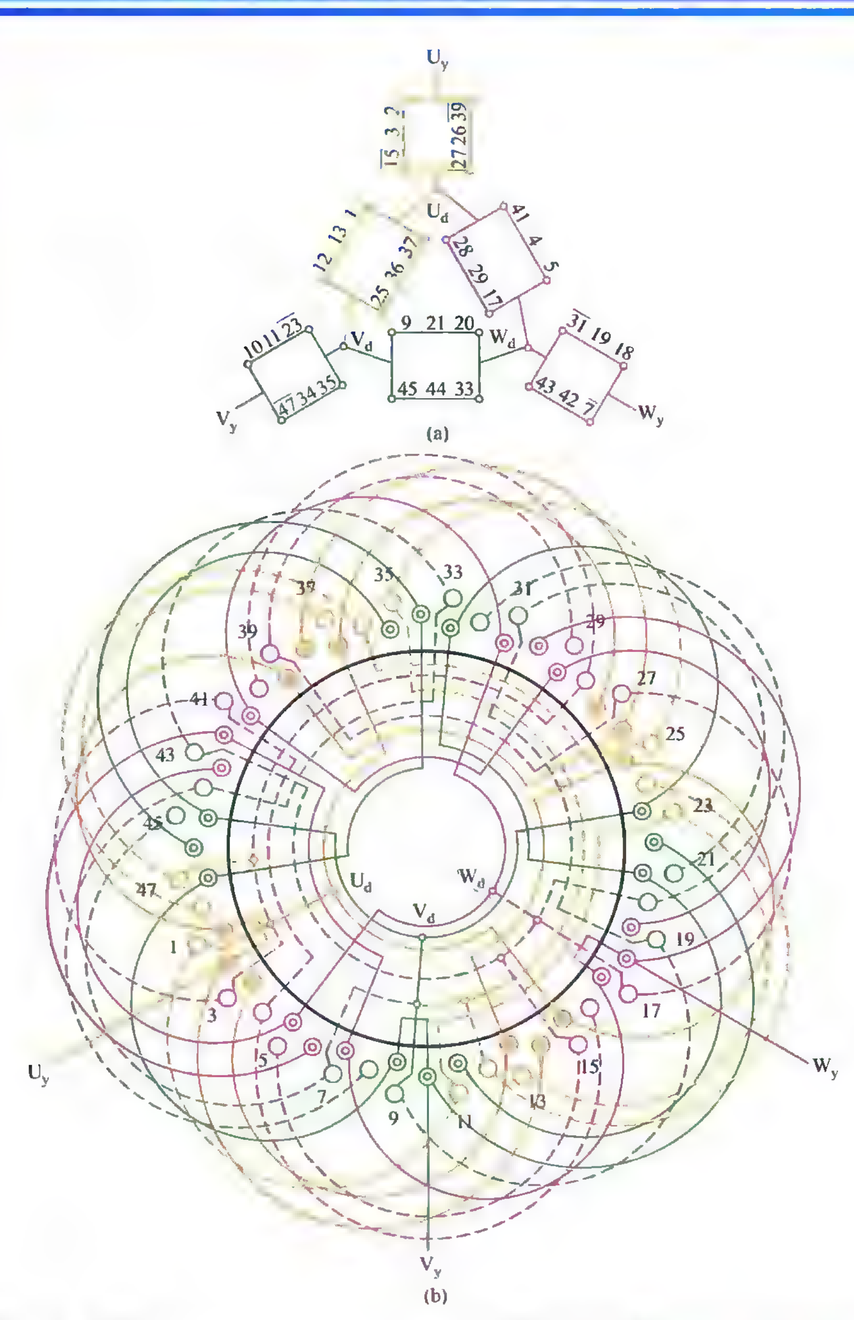


图2.16 48槽4极（$y_d=11$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉式布线

2.2.3 48槽4极（$y_d=11$、$a_d=a_y=2$）内星角形正弦绕组单双层同心交叉式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=1$、2	线圈节距	$y=12$、10
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=18$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=15°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.977$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.977$

（2）绕组布接线特点

本例采用单双层布线，二路并联，总线圈数较双层绕组减少1/4，两套绕组占槽相等，线圈数也相等，它们分别由两套相同的单层同心交叉式绕组构成。嵌绕比较简便，吊边数仅为3，嵌线前将4种规格线圈分开，先嵌角形部分线圈，完成后垫好层间及端部绝缘，再嵌星形部分线圈。嵌线时还要注意单、双圈线圈组交替嵌入。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于JO2L-71-4等二路并联的电动机改绕。正弦绕组基本参数N_d、N_y、A_d、A_y由表2-1中公式求取，各线圈匝数由下式确定：

星形	同心大线圈匝数	$W_{y1-12}=N_y$
	单圈及小线圈匝数	$W_{y2-11}=N_y/2$
角形	同心大线圈匝数	$W_{d1-12}=N_d$
	单圈及小线圈匝数	$W_{d2-11}=N_d/2$

（4）绕组端面布接线

如图2-17（a）、（b）所示。

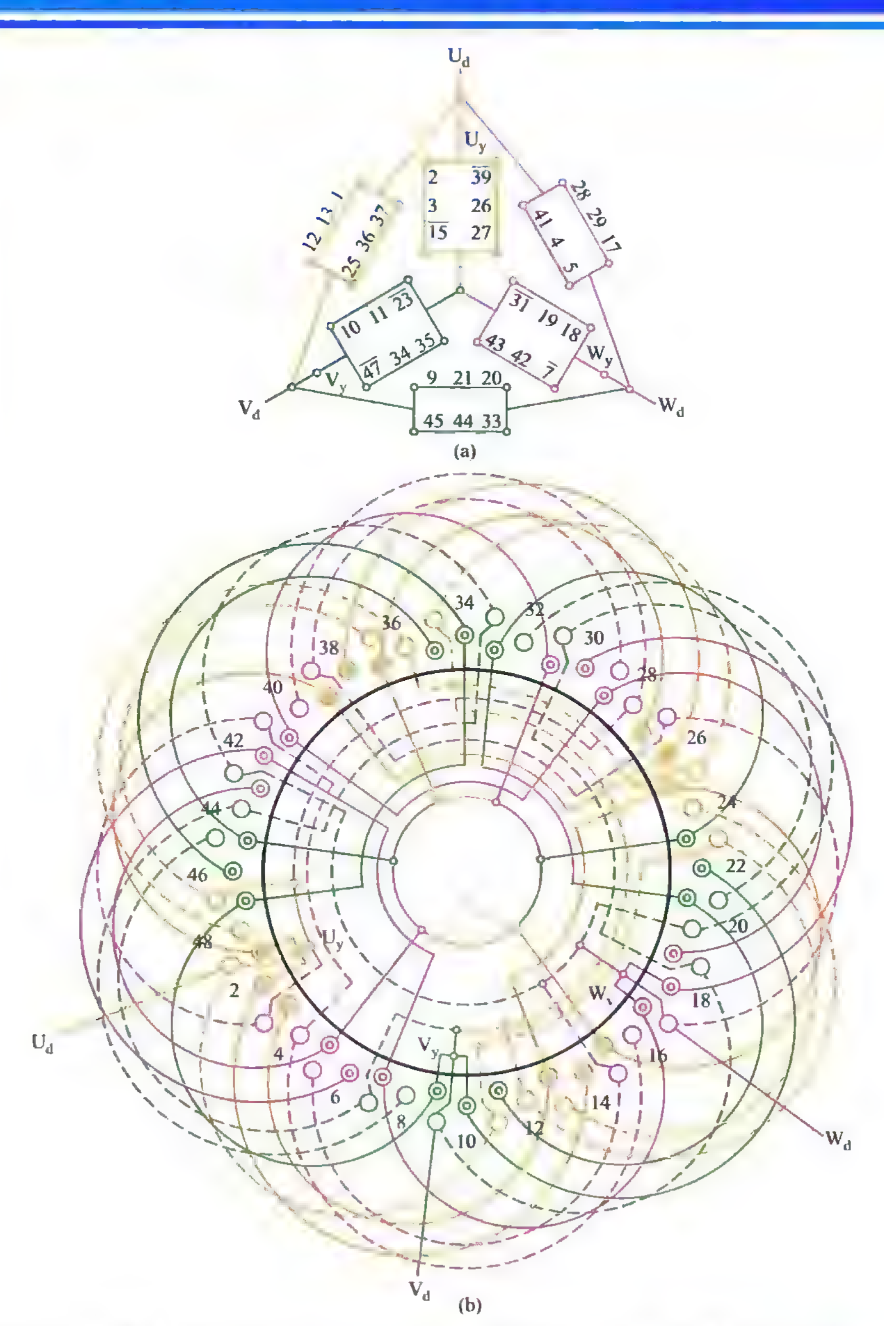


图2-17　48槽4极（$y_d=11$、$a_d=a_y=2$）内星角形正弦绕组单双层同心交叉式布线

2.2.4 48槽8极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	$\triangle\!\!\!\angle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例正弦绕组结构简单，它由两套结构相同的单层（庶极）链式绕组组成8极电机。每套绕组的一相仅用4只线圈相隔一极距布线，并采用同相相邻线圈顺向串联成相同极性。单层布线比双层绕组的线圈数减少一半，而庶极又再减半；且嵌线仅吊1边。故此绕组具有嵌绕工艺省工省时的优点。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例适用于Y160M2-8等原绕组为一路接法的电动机改绕。正弦绕组基本参数N_y、N_d、A_y、A_d由表2-1中公式计算。线圈匝数由下式确定：

星形线圈匝数　$W_y=N_y$

角形线圈匝数　$W_d=N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-18（a)、(b）所示。

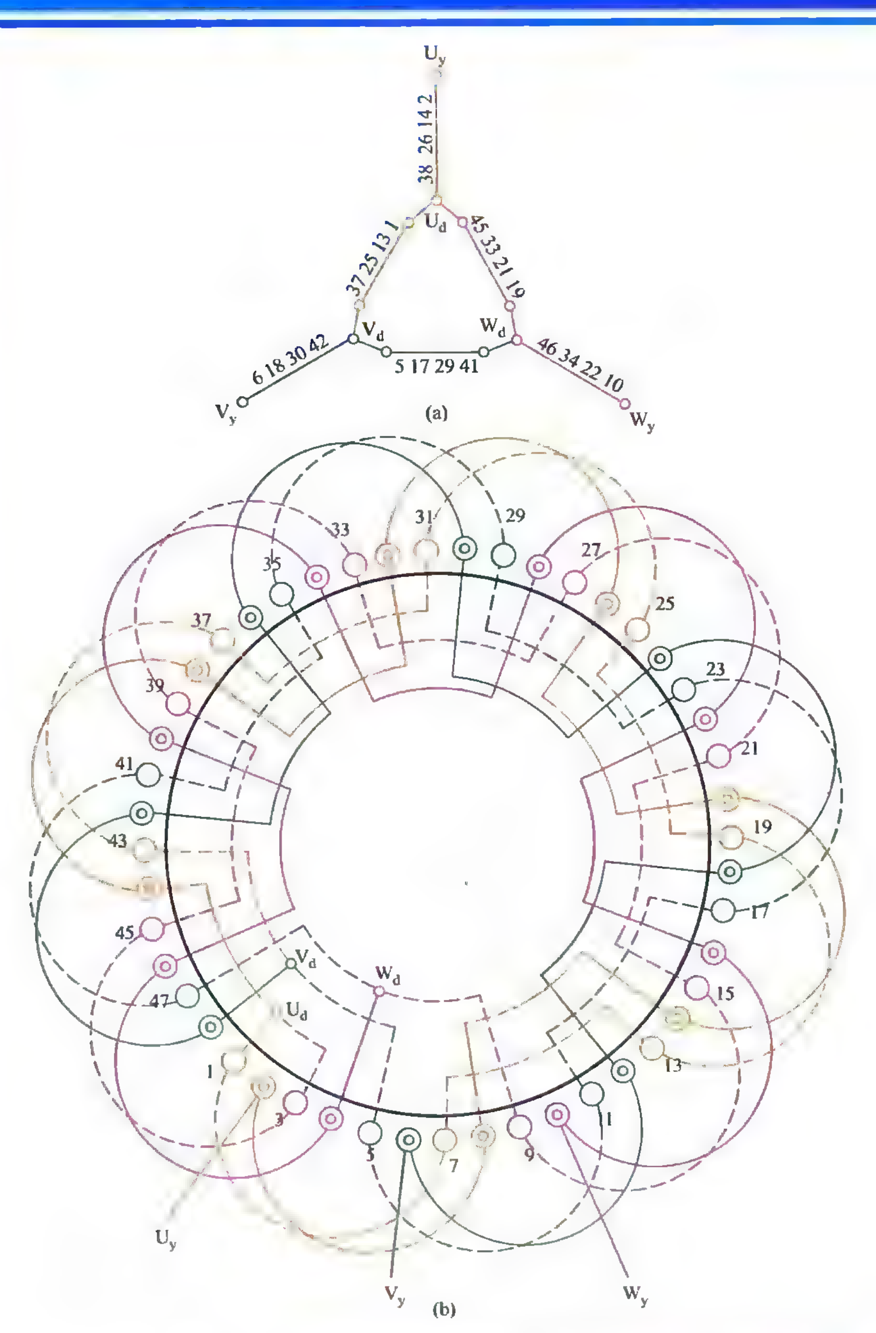


图 2-18　18槽8极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.5　48 槽 8 极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=8$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	△
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y 线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1$	Y 极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

（2）绕组布接线特点

本例是八极正弦绕组最简单的绕组型式，绕组由两套单层庶极链式绕组组成，每只线圈为一组，每相八极仅用 4 只线圈，故线圈组数和个数都较少。嵌线仅吊 1 边，操作省时方便。但多极数电机改绕，其性能效果不及双层叠式正弦绕组。

（3）绕组改绕应用与换算

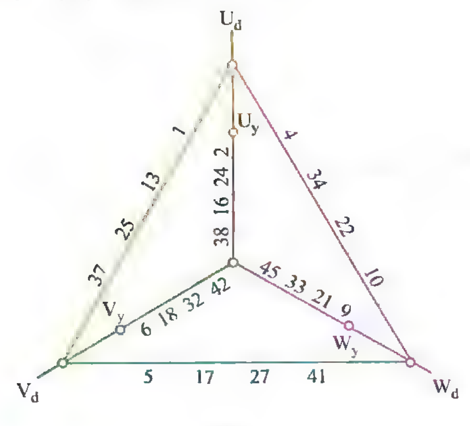
本例绕组应用于 JO3-140M-8 等容量较小的一路接法电动机的改绕。正弦绕组基本参数由表 2-1 中公式求取；绕组的线圈数据由下式确定：

星形线圈匝数　$W_y=N_y$

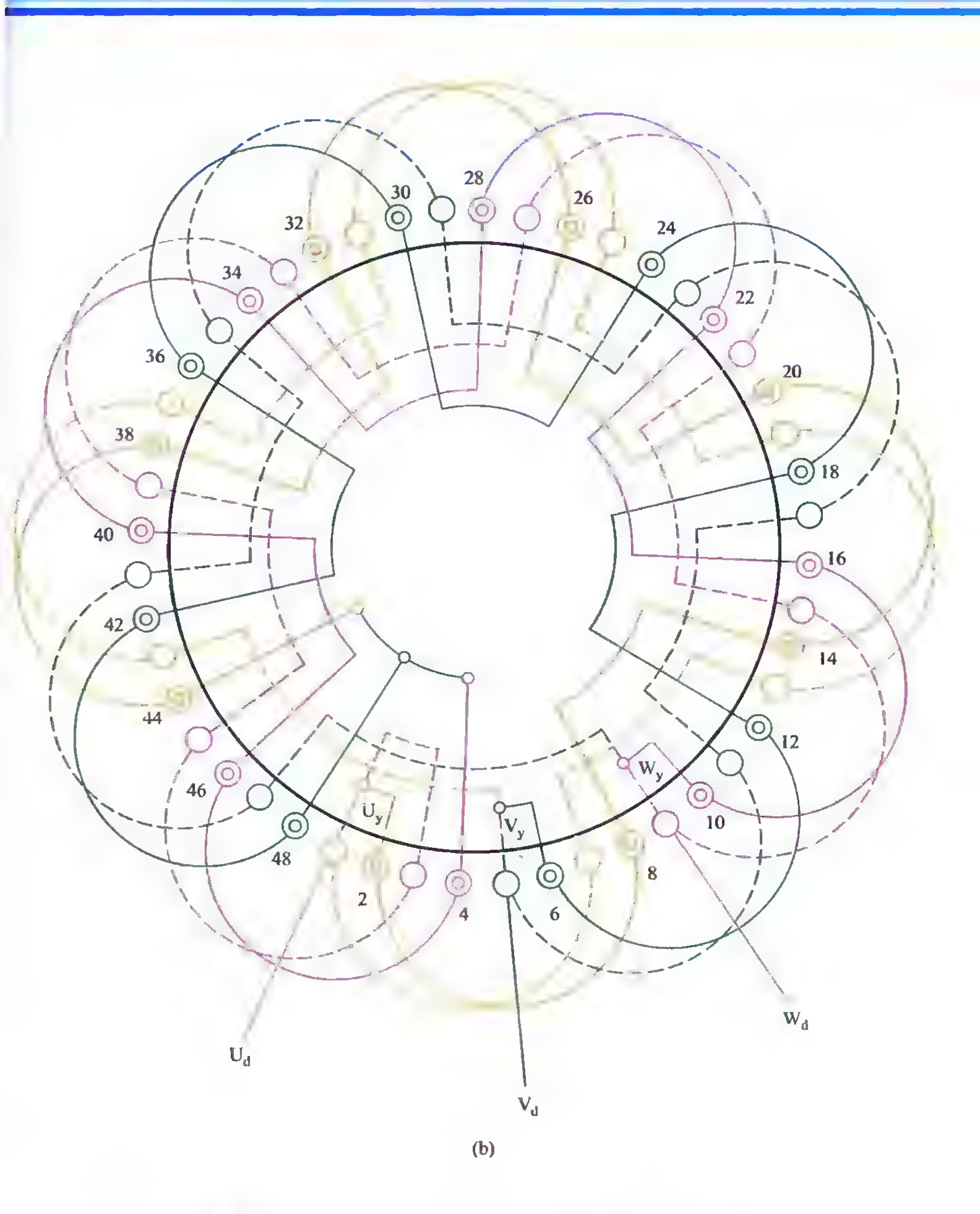
角形线圈匝数　$W_d=N_d$

（4）绕组端面布接线

如图 2-19（a）、（b）所示。



(a)



(b)

图 2-19　48槽8极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.6 36槽2极（$y_d=15$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	⩹
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=17$、15
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=6$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=3$	Y极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.971$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.971$

(2) 绕组布接线特点

本例由两套同心线圈构成的单双层显极式绕组，每组均由一大一小同心线圈组成；线圈总数比双层叠式少1/3，嵌线吊边数为4，比上例双层绕组少13，大大降低了二极电动机线圈嵌线的难度。线圈采用同心塔模绕制，但要区分两种不同参数的线圈。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例主要应用于JO2-72-2等一路串联接法的电动机改绕。改绕后正弦绕组参数由表2-1中公式计算；线圈匝数由下式确定：

星形　大线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　小线圈匝数　$W_{y2}=W_{y1}/2$

角形　大线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　小线圈匝数　$W_{d2}=W_{d1}/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-20 (a)、(b) 所示。

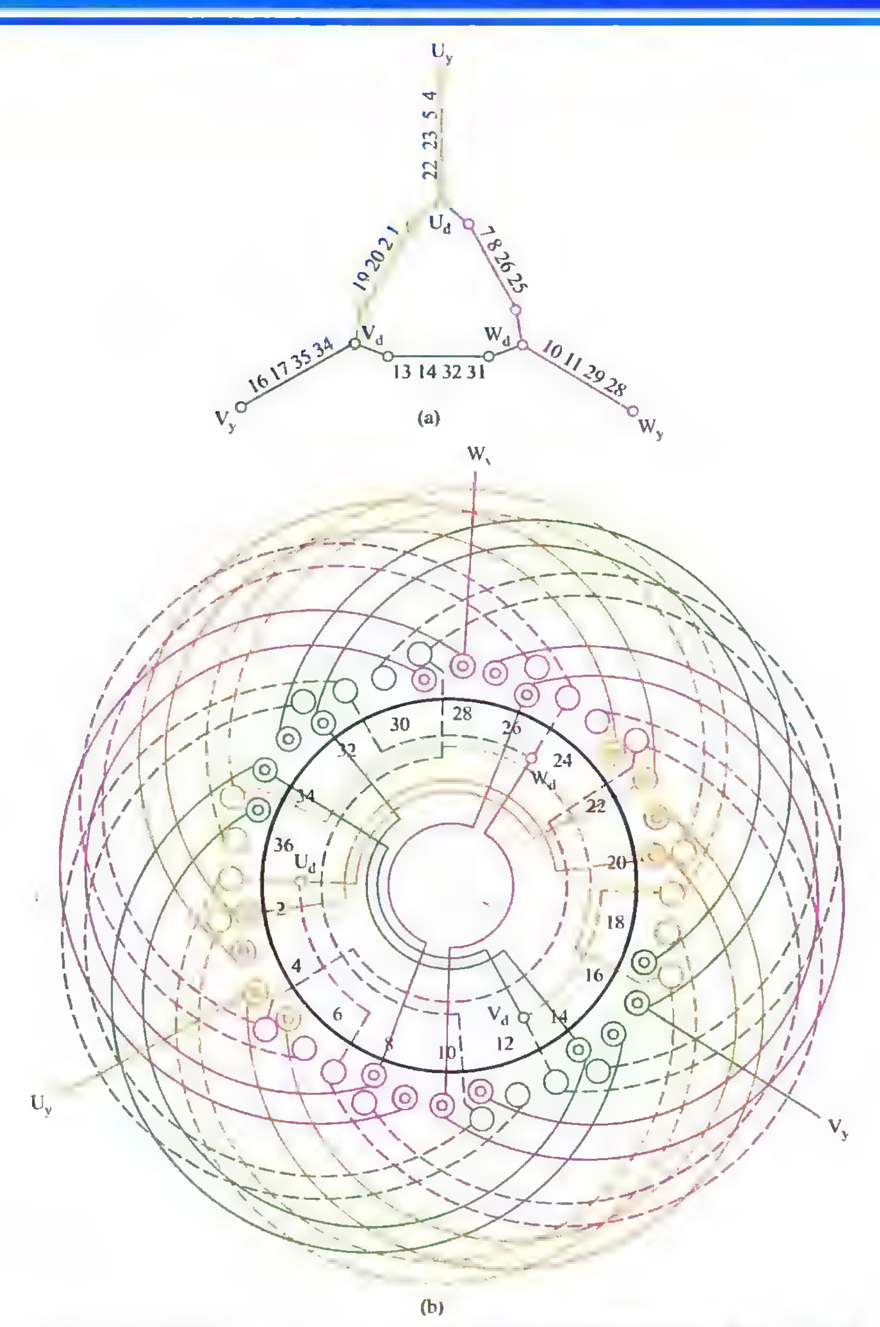


图 2-20　36 槽 2 极（$y_d=15$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心式布线

2.2.7 36槽2极（$y_d=15$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单双层同心式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	△
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=17$、15
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=6$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y 线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=3$	Y 极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.971$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.971$

（2）绕组布接线特点

本例采用单双层布线，两套绕组占槽相等，线圈数相等，绕组有四种不同参数线圈；每组由两只不等匝同心线圈构成，故线圈组要用双塔模绕制；但绕组线圈较双层绕组少 12 只，而且可分层嵌线，吊边数少，只吊 4 边，嵌线比双叠绕组方便。

通常，嵌线采用分层嵌线，即先把角形部分的线圈嵌入相应槽内，垫好层间及端部绝缘后再嵌星形部分的线圈，因此，实质上是由两套同心式三相绕组构成。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于 JO-72-2 等绕组为一路接法的电动机改绕正弦。改绕后的正弦基本参数，如每槽导线数 N_y、N_d 及导线截面积 A_y、A_d 由表 2-1 中公式求取。线圈匝数由下式确定：

星形	同心大线圈匝数	$W_{y4}=N_y$
	同心小线圈匝数	$W_{y5}=W_{y4}/2$
角形	同心大线圈匝数	$W_{d1}=N_d$
	同心小线圈匝数	$W_{d2}=W_{d1}/2$

（4）绕组端面布接线

如图 2-21（a）、（b）所示。

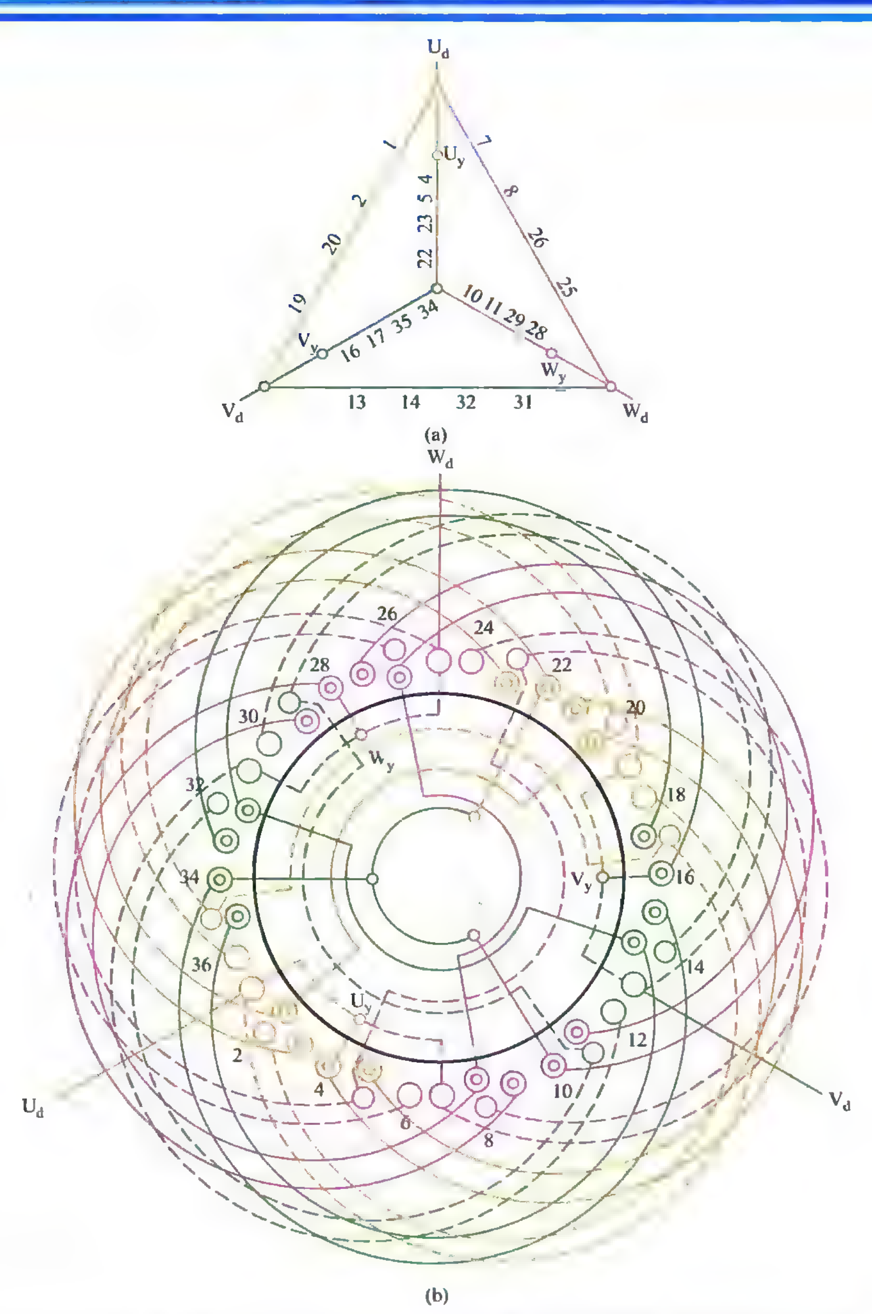


图 2-21 36 槽 2 极（$y_d=15$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单双层同心式布线

2.2.8 36槽2极($y_d=15$、$a_d=a_y=2$)内星角形正弦绕组单双层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	△
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=17$、15
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=6$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.971$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.971$

(2) 绕组布接线特点

本例系二路并联的正弦绕组,布线采用单双层同心式,角形和星形两套绕组占槽相等,两套绕组有四种规格线圈,同心线圈可用塔模连绕。绕组线圈数较少,采用分层嵌线时吊边数为4,嵌线接线都简便。

嵌线采用分层交叠嵌线,先把角形部分线圈嵌入相应槽内,构成一套交叠式单层绕组,垫好绝缘后再嵌Y形部分线圈于面层。

(3) 绕组改绕应用与换算

本绕组为二路接法,故适用于JO2L-91-2等二路并联的电机改绕正弦。改绕后正弦参数由表2-1中公式算出;线圈匝数由下式确定:

星形 同心大线圈匝数 $W_{y4}=N_y$

同心小线圈匝数 $W_{y5}=W_{y4}/2$

角形 同心大线圈匝数 $W_{d1}=N_d$

同心小线圈匝数 $W_{d2}=W_{d1}/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-22(a)、(b)所示。

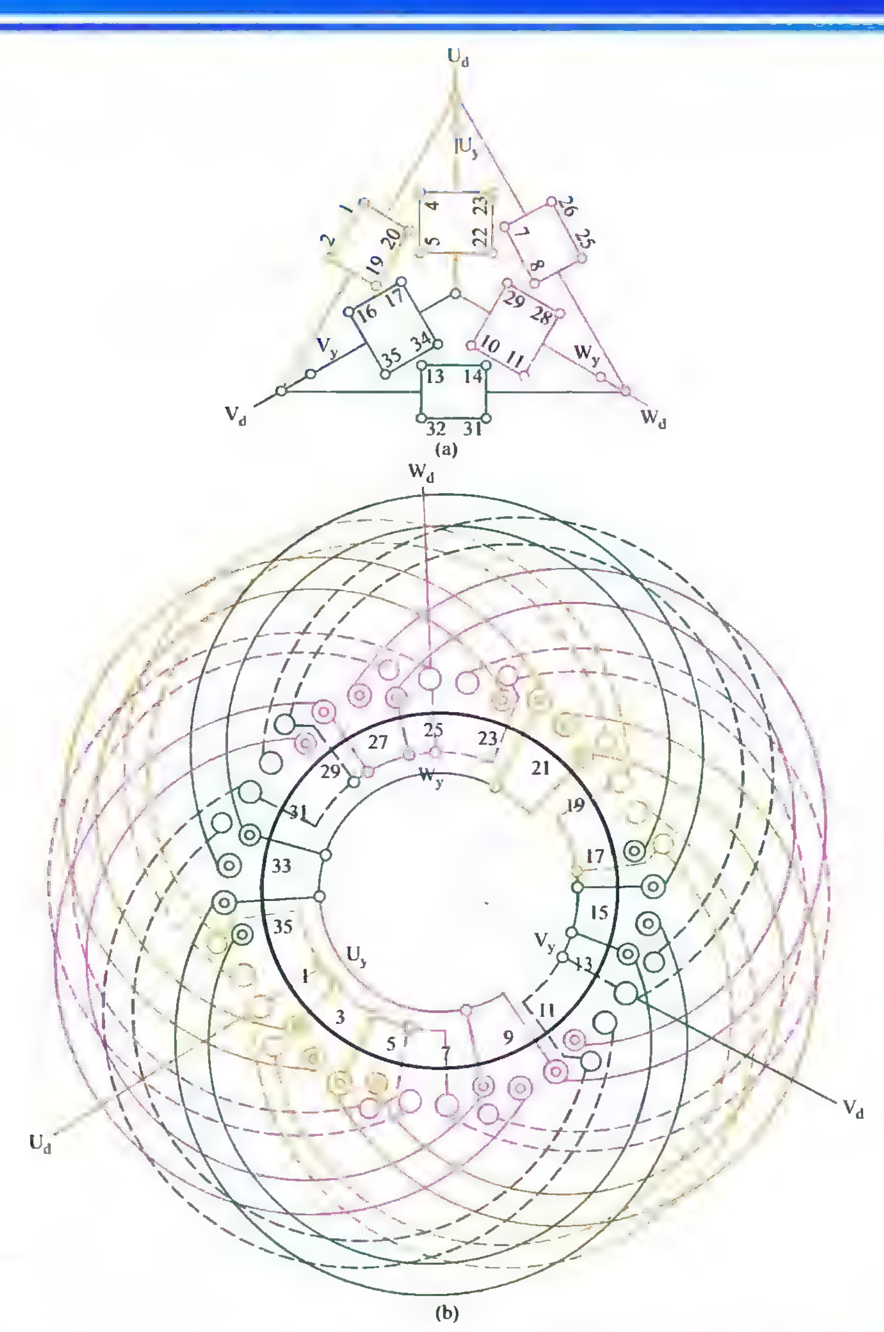


图 2-22　36 槽 2 极（$y_d=15$、$a_d=a_y=2$）内星角形正弦绕组单双层同心式布线

2.2.9 36槽2极（$y_d=15$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	$\angle\!\!\!\triangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=18$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=17$、15
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=6$	Y 联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=12$	Y 线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=3$	Y 极相槽	$q_y=3$
每槽电角	$\alpha=10°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.971$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.971$

(2) 绕组布接线特点

本绕组基本与上例相同，但改用内角星形接法，仍采用二路并联，布线也是单双层混合，两套绕组占槽相等，绕组由双圈同心绕组构成，大小两线圈匝数不等但线径相同，其中大线圈是单层线圈，小线圈是双层线圈。线圈跨距虽然较大，但采用分层嵌线的吊边数仅为 4，故嵌线的难度远小于双层绕组。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于如 JO2L-71-2 等二路并联的电动机改绕。正弦绕组参数 N_y、N_d；A_y、A_d 由表 2-1 中公式求取，各线圈匝数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=N_y/2$

角形　单层线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　双层线圈匝数　$W_{d2}=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图 2-23 (a)、(b) 所示。

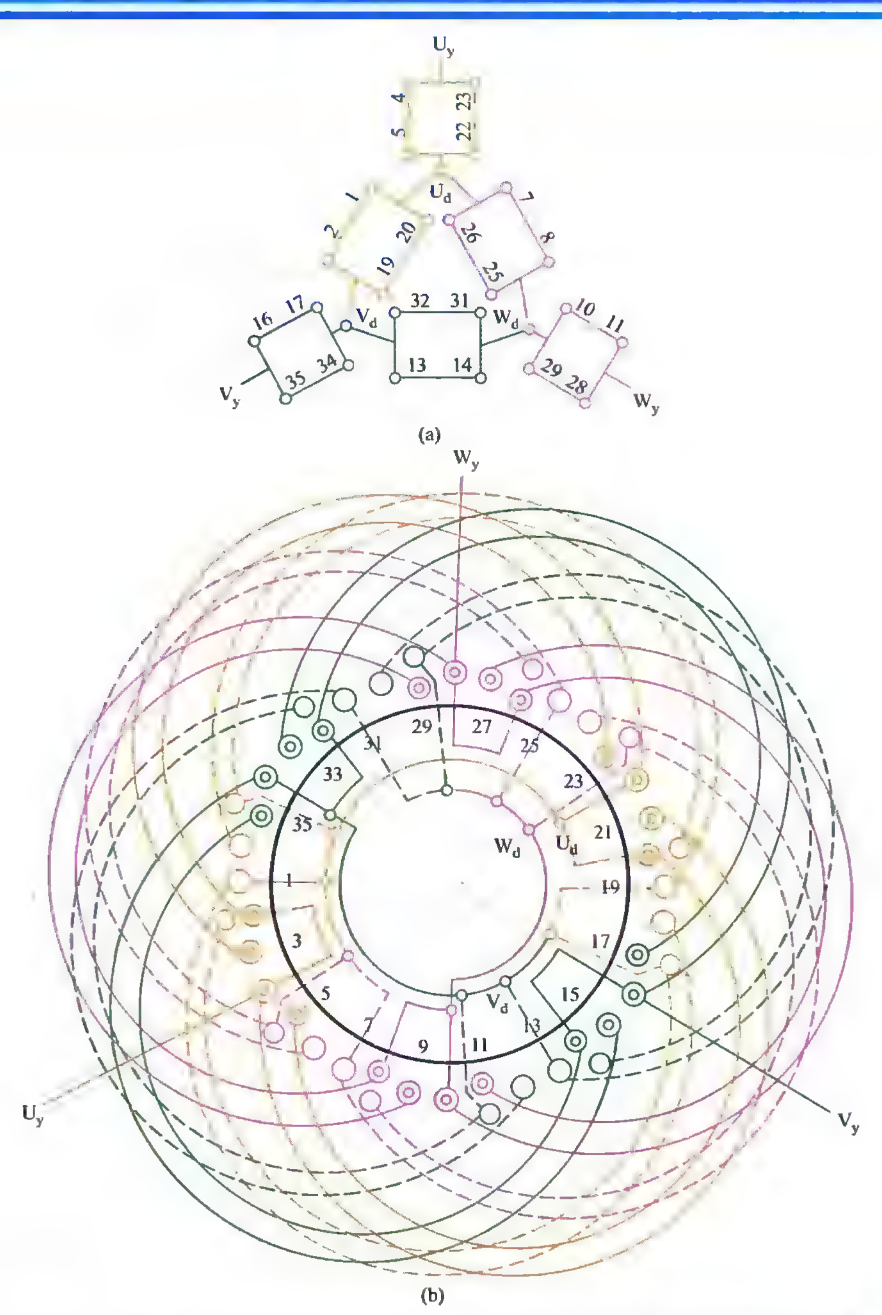


图 2-23　36 槽 2 极（$y_d=15$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心式布线

2.2.10　36槽4极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$、$S_y\neq S_d$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=30$	绕组接法	∡
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=7$、8、9
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.985$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本例绕组是显极式单双层混合布线，因每极相槽数为奇数，两套绕组用不同型式安排，角形部分是单层链式，每组只有1只线圈；星形部分是每极相多占1/2槽，故采用单双圈轮换安排而构成单层同心交叉式绕组。为使电动机获得较好的运行性能，使槽电势沿定子圆周呈正弦规律分布，星形和角形线圈的匝比应为 $W_{y1}:W_{y2}:W_d=1:0.347:1.185$。此外，角形绕组只有一种规格线圈；星形的同心线圈组二线圈的匝数也不相同，绕制线圈时应予注意，而单圈与同心小线圈的匝数和尺寸相同。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例应用于一路串联接法的小电机，如JO2L-52-4等的改绕，改绕后正弦绕组参数 N_y 及 A_y、A_d 可由表2-1中公式求取，因 q 为奇数，两部分线圈数不等，为改善电机性能，各线圈匝数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=0.347W_{y1}$

角形　线圈匝数　$W_d=1.185W_y$

(4) 绕组端面布接线

如图2-24（a）、（b）所示。

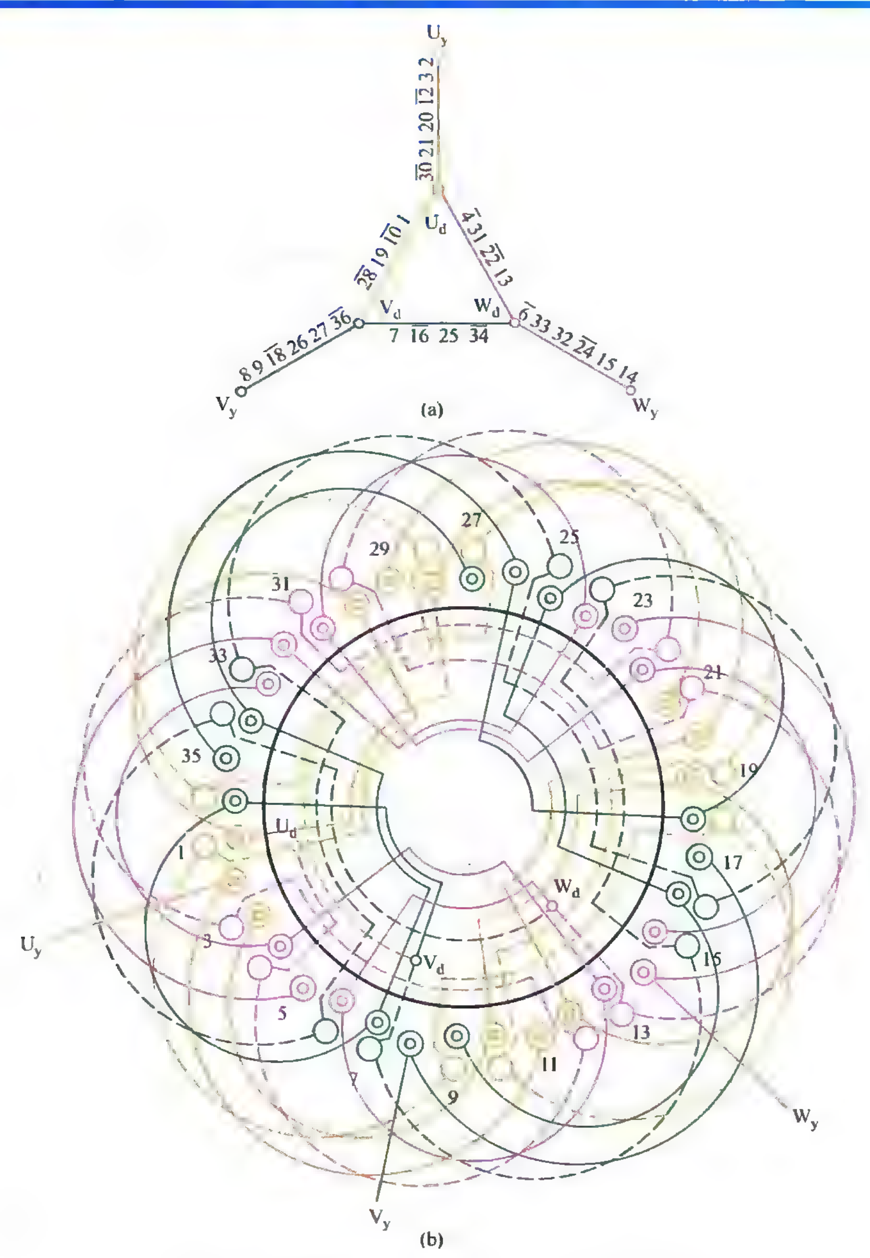


图 2-24 36槽4极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$、$S_y \neq S_d$）
内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

2.2.11 36槽4极（$y_d=8$、$a_d=a_y=1$、$S_d=S_y$）内星角形正弦绕组单双层（不规则）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	△
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=9$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.94$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.94$

(2) 绕组布接线特点

本例是由双层叠式绕组演变而成的新的单双层正弦绕组型式，它虽用全距线圈，但槽电势分布与短距绕组相同，仍能有效地削减高次谐波分量。绕组每组均为1只线圈，线圈总数较双层绕组减少1/3，而且线圈跨9槽，但吊边数仅为2，有利于小容量定子嵌线。

此正弦绕组的每组虽由单圈组成，但在分布上未能构成规则的链式，而有两处对称位置形成交叠布线，从而使绕组端部出现局部三重叠现象，给端部整理和绝缘带来困难。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于JO3-112L-4等一路接法的小电机改绕正弦，其基本参数 N_y、N_d、A_y、A_d 由表2-1中公式计算，各线圈匝数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=N_y/2$

角形　单层线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　双层线圈匝数　$W_{d2}=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-25 (a)、(b) 所示。

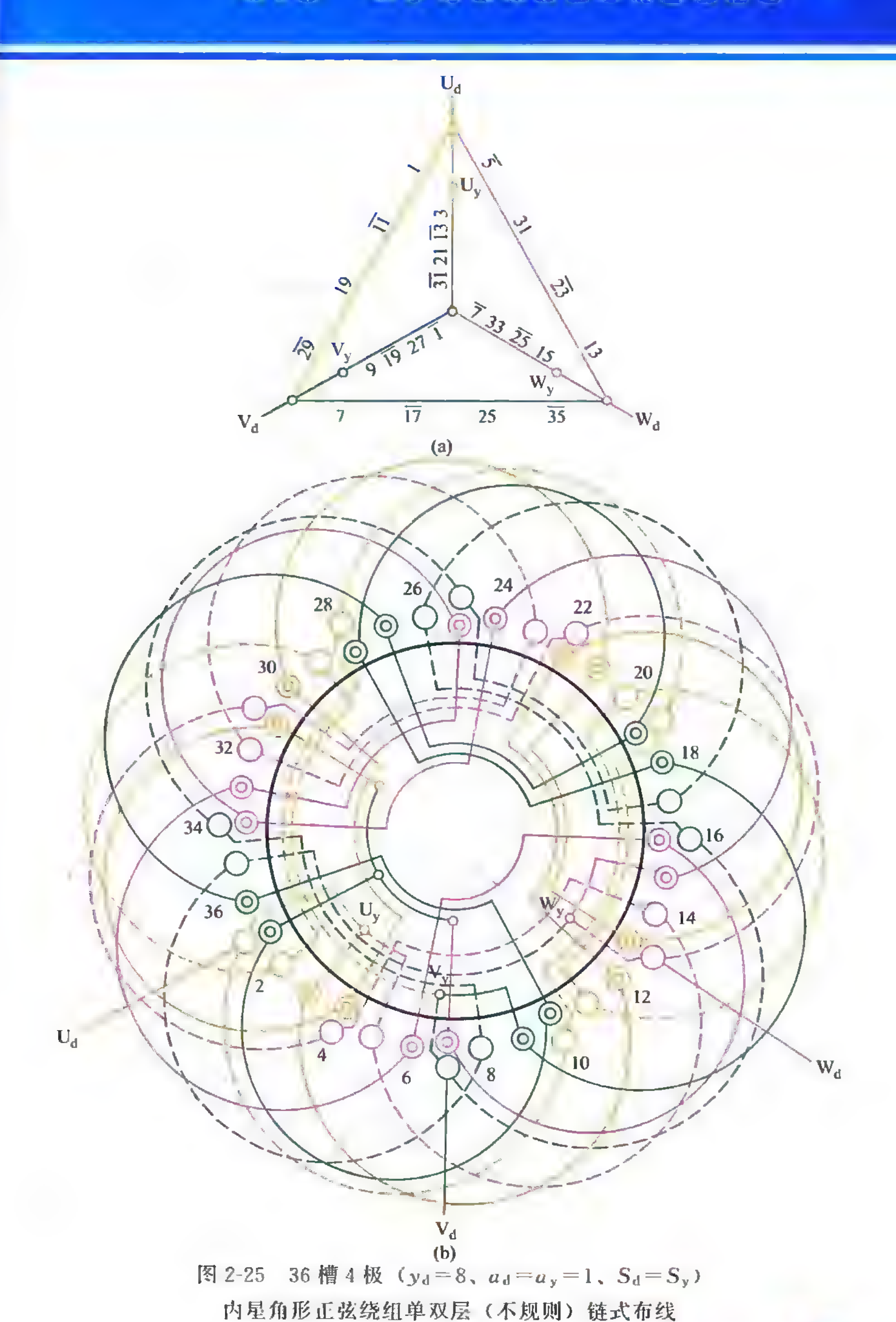


图 2-25　36 槽 4 极（$y_d=8$、$a_d=a_y=1$、$S_d=S_y$）
内星角形正弦绕组单双层（不规则）链式布线

2.2.12 36槽4极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层叠式（庶极）布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	$\angle\!\!\triangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=9$
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.94$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.94$

(2) 绕组布接线特点

本例两套绕组结构相同，为单双层庶极布线，故四极绕组每相仅有两组线圈，即由一大（单层）、一小（双层）线圈组成，而两组线圈极性相同，即顺向串联。此绕组线圈少，接线非常简单，但端部交叠层次显得较多，而且虽然节距相同，但4种规格的线圈也容易混淆，故对嵌接线会造成一定的困难。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组主要应用于小型电机改绕，如JO4-61-4等一路接法的电机改绕正弦，基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 等计算可参考表2-1中公式进行，而线圈匝数则由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=N_y/2$

角形　单层线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　双层线圈匝数　$W_{d2}=N_d/2$

(4) 绕组端面布接线

如图2-26（a）、(b）所示。

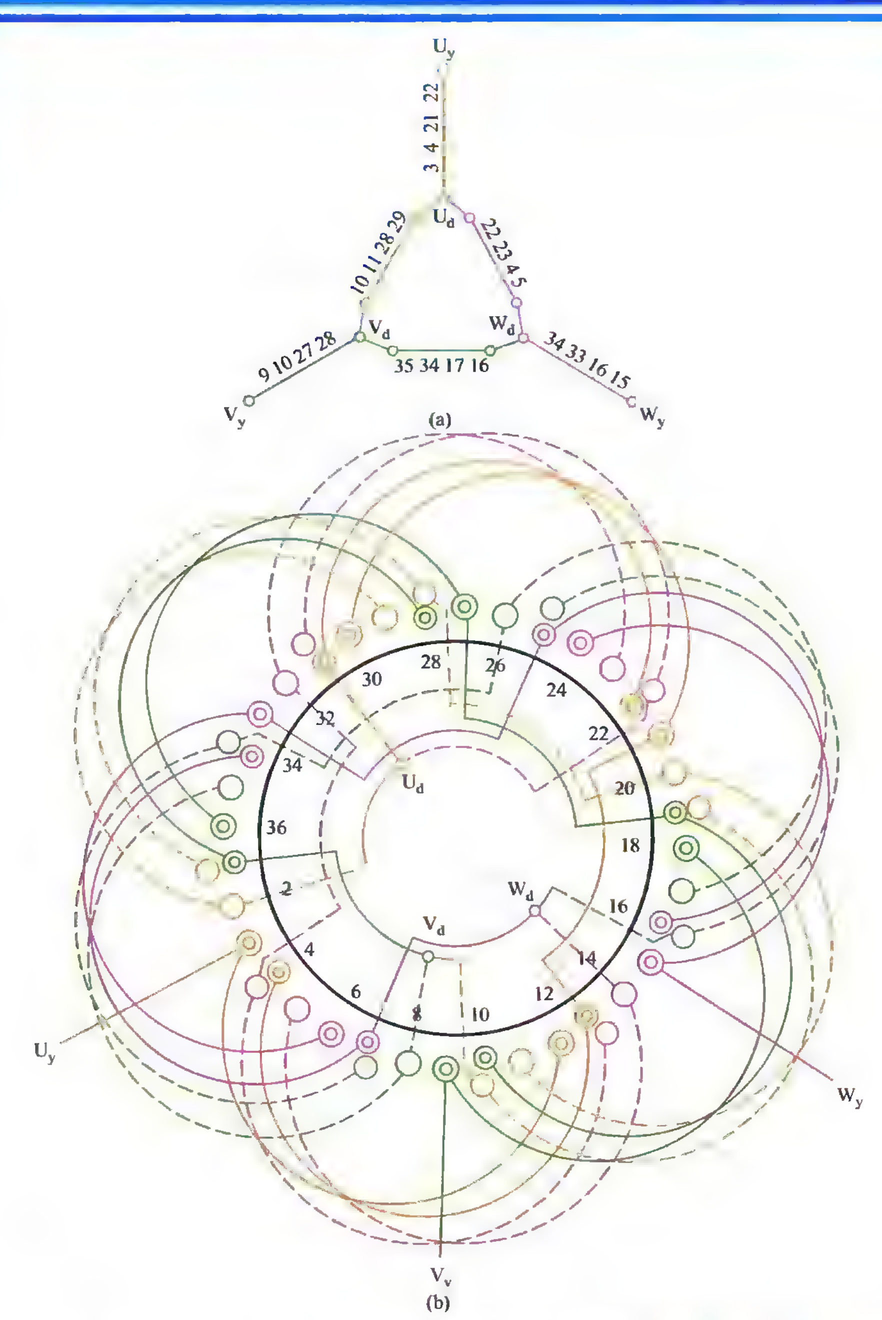


图 2-26　36 槽 4 极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层叠式（庶极）布线

2.2.13 36槽4极（$y_d=8$、$a_y \neq a_d$）内角星形正弦绕组单双层（不规则）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	$\triangle\!\!\!\!\angle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=9$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.94$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.94$

(2) 绕组布接线特点

本例为两套绕组并联支路数不相等的范例之一，而且采用新颖的显极布线型式。两套绕组占槽比相等，每线圈为一组，每相由4只线圈构成，线圈数比双层绕组少12只；线圈采用全节距，但依然具有削减高次谐波的能力。本绕组嵌线方便，分层嵌线时吊边数仅为2，但绕组端部有局部三重叠，绕组端部整形和绝缘较困难。

(3) 绕组改绕应用与换算

本绕组适用于如J2-71-4等原绕组为一路串联的电动机改绕，正弦绕组基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 的计算可参照表2-1中公式进行，而各线圈参数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=2N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=N_y$

　　　导线截面积　$A_y'=A_y/2$

角形　单层线圈匝数　$W_{d1}=N_d$

　　　双层线圈匝数　$W_{d2}=N_d/2$

　　　导线截面积　$A_d'=A_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-27 (a)、(b) 所示。

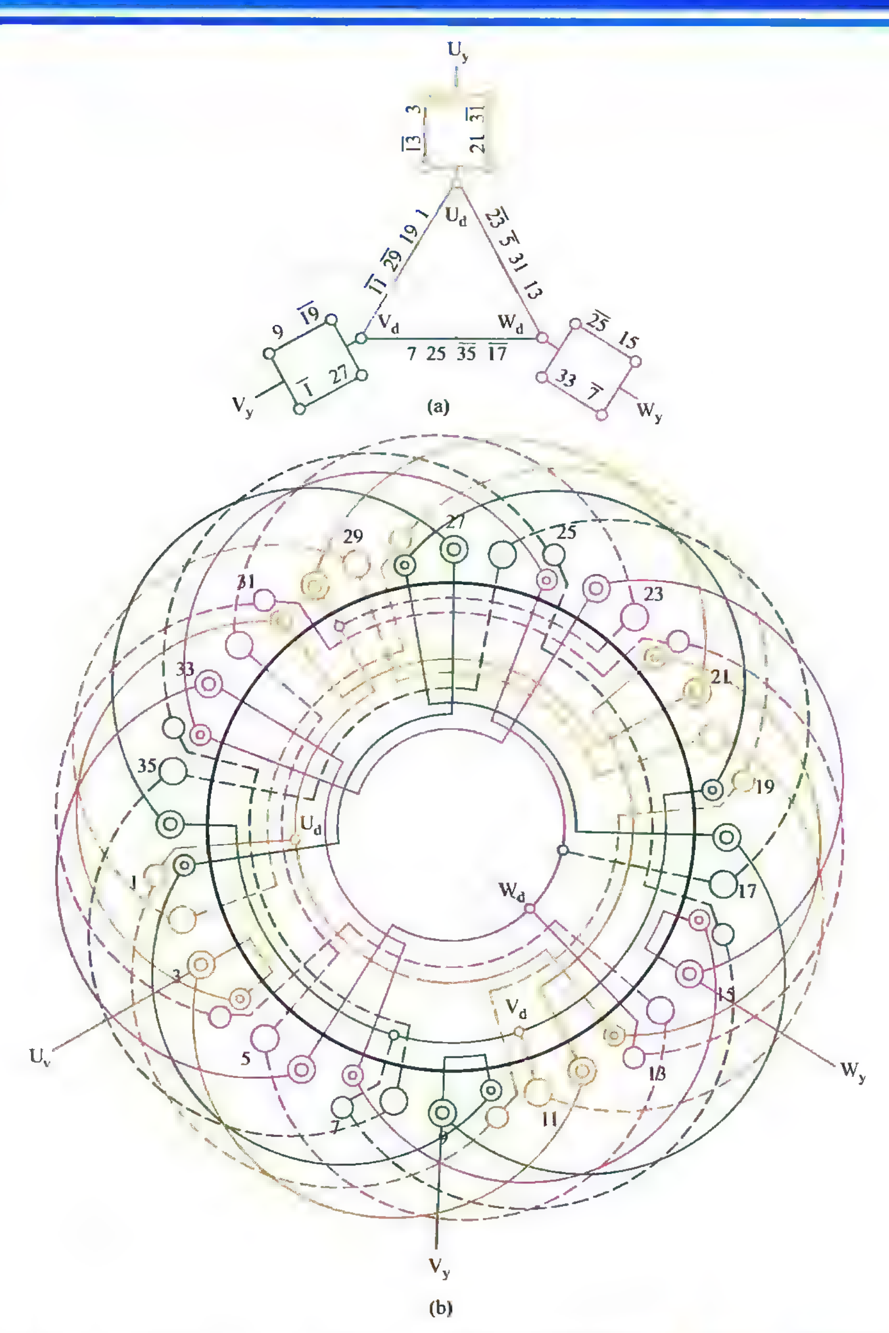


图2 27　36槽4极（$y_d=8$、$a_y \neq a_d$）内角星形正弦绕组单双层（不规则）链式布线

2.2.14 36槽4极（$y_d=8$、$a_y \neq a_d$）内角星形正弦绕组单双层叠式（庶极）布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=24$	绕组接法	⊿
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=9$
	$S_y=2$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=12$
△极相槽	$q_d=1\frac{1}{2}$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.94$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.94$

（2）绕组布接线特点

本例采用单双层庶极布线，但两套绕组支路数不同，角形部分系一路串联接线；星形部分为二路并联。绕组分别由两套单层庶极交叠线圈构成，每相有两线圈组，每组由大小两只交叠线圈组成。端部有三重叠，但线圈组数少，嵌线和接线均方便。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组是应用于原绕组为一路串联如JO4-71-4等小型电动机改绕正弦之用，如非一路接法则应先将其换算到一路串联参数后再作改绕。改绕正弦后，其基本参数由表2-1中公式计算。各线圈参数则由下式确定：

星形	单层线圈匝数	$W_{y1}=2N_y$
	双层线圈匝数	$W_{y2}=N_y$
	导线截面积	$A_y'=A_y/2$
角形	单层线圈匝数	$W_{d1}=N_d$
	双层线圈匝数	$W_{d2}=N_d/2$
	导线截面积	$A_d'=A_d$

（4）绕组端面布接线

如图2-28（a）、（b）所示。

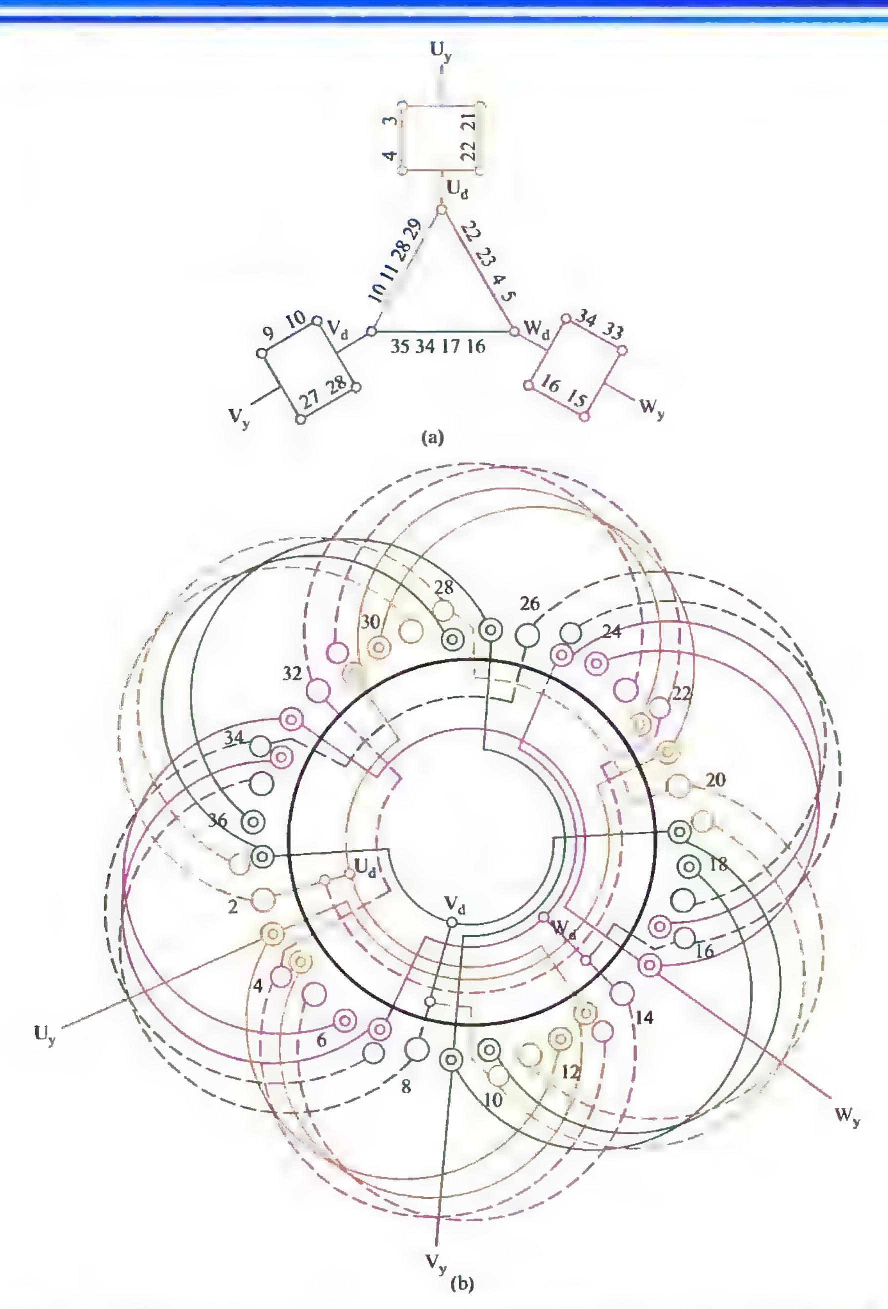


图 2-28　36 槽 4 极（$y_d=8$、$a_y \neq a_d$）内角星形正弦绕组单双层叠式（庶极）布线

2.2.15 36槽4极（$y_d=8$、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=30$	绕组接法	$\angle\!\!\triangle$
线圈组数	$u=24$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=7$、8、9
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=2$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=2$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=18$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

(2) 绕组布接线特点

本例绕组的星形和角形两部分均采用二路并联接线。星形部分每极由同心双圈和单圈交替分布，从而构成同心交叉式；角形部分则每相由4只单圈按正规链式分布，即构成单链绕组。两套（星形和角形）绕组的线圈匝数采用正弦规律分布，以获得较理想的运行性能。由于线圈节距多，线圈规格有别，故绕线和嵌线应予注意，勿使弄错。

(3) 绕组改绕应用与换算

改绕电动机为二路并联时，正弦绕组基本参数 N_y、A_y、A_d 由表2-1中公式计算。而 $q=$ 奇数，拟将各线圈匝数按正弦规律分布，则改绕线圈匝数由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=0.347W_{y1}$

角形　双层线圈匝数　$W_d=1.185W_{y1}$

(4) 绕组端面布接线

如图2-29(a)、(b)所示。

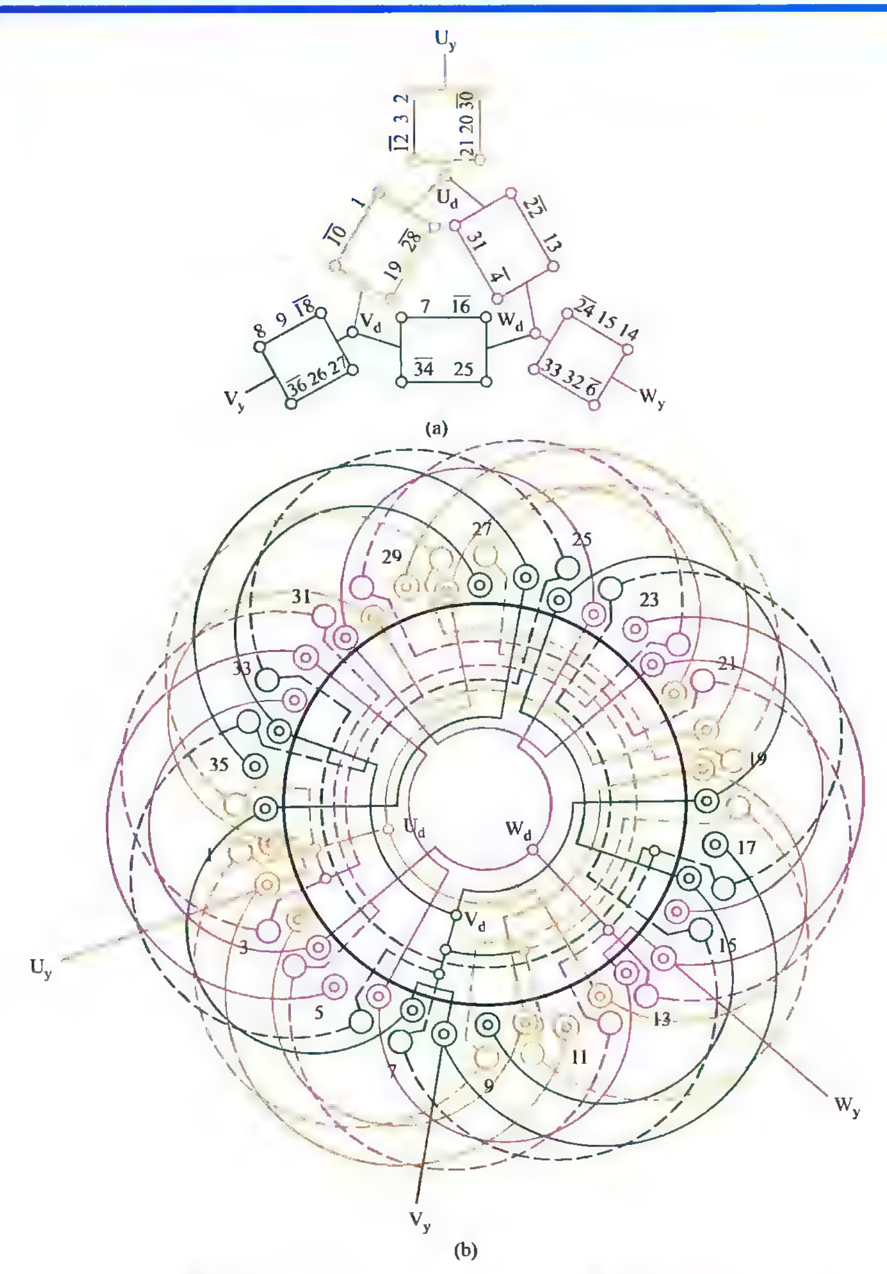


图 2-29　36 槽 4 极（y_d　8、$a_y=a_d=2$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

2.2.16 36槽6极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=18$	绕组接法	△
线圈组数	$u=18$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=9$	Y线圈数	$Q_y=9$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例采用单层庶极布线，是六极正弦绕组最简单的绕组型式。两套绕组占槽比为1，每组只有一只线圈，由于线圈为庶极排列，线圈个数及线圈组数都较显极式减少一半，而且分层嵌线时仅吊1边；接线也无需反折，故嵌接工序都省工省时。但电机性能稍差于双层绕组，一般应用只限于小容量电动机。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组主要应用于如JO2L-52-6等一路接法的小容量电动机改绕。改绕后的正弦绕组参数由表2-1中公式计算；而线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y - N_y$

角形　线圈匝数　$W_d = N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-30 (a)、(b) 所示。

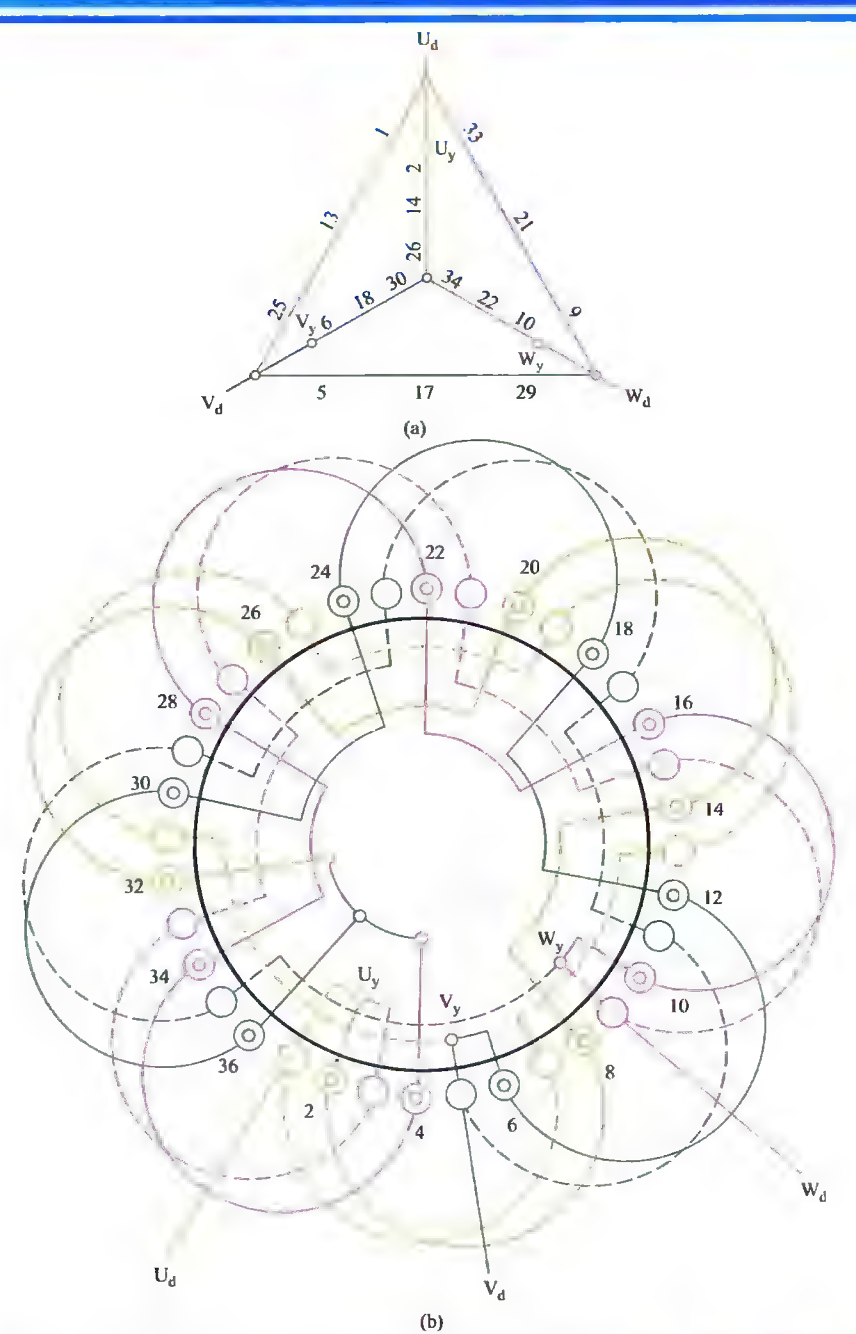


图 2-30　36 槽 6 极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.17 36槽6极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=6$
总线圈数	$Q=18$	绕组接法	△Y（内角星形）
线圈组数	$u=18$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=9$	Y 线圈数	$Q_y=9$
△极相槽	$q_d=1$	Y 极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

（2）绕组布接线特点

本例系单层庶极式布线，两套绕组均由单层庶极链式构成。两套绕组安排互差30°电角，每组1只线圈，每相六极仅用3只线圈，是线圈数少、嵌线方便的小容量电动机绕组。

嵌线采用分层交叠嵌线，即先嵌角形部分线圈于相应槽，垫好绝缘后再嵌入星形部分线圈。全部线圈用同一规格线模绕制，嵌线前应严格区分不同参数的线圈，以免混淆造成错嵌。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组主要应用于如JO2-51-6等小功率一路串联的电动机改绕，改绕后正弦绕组基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 由表2-1中公式求取，再由下式确定各线圈匝数：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d$

（4）绕组端面布接线

如图2-31（a）、（b）所示。

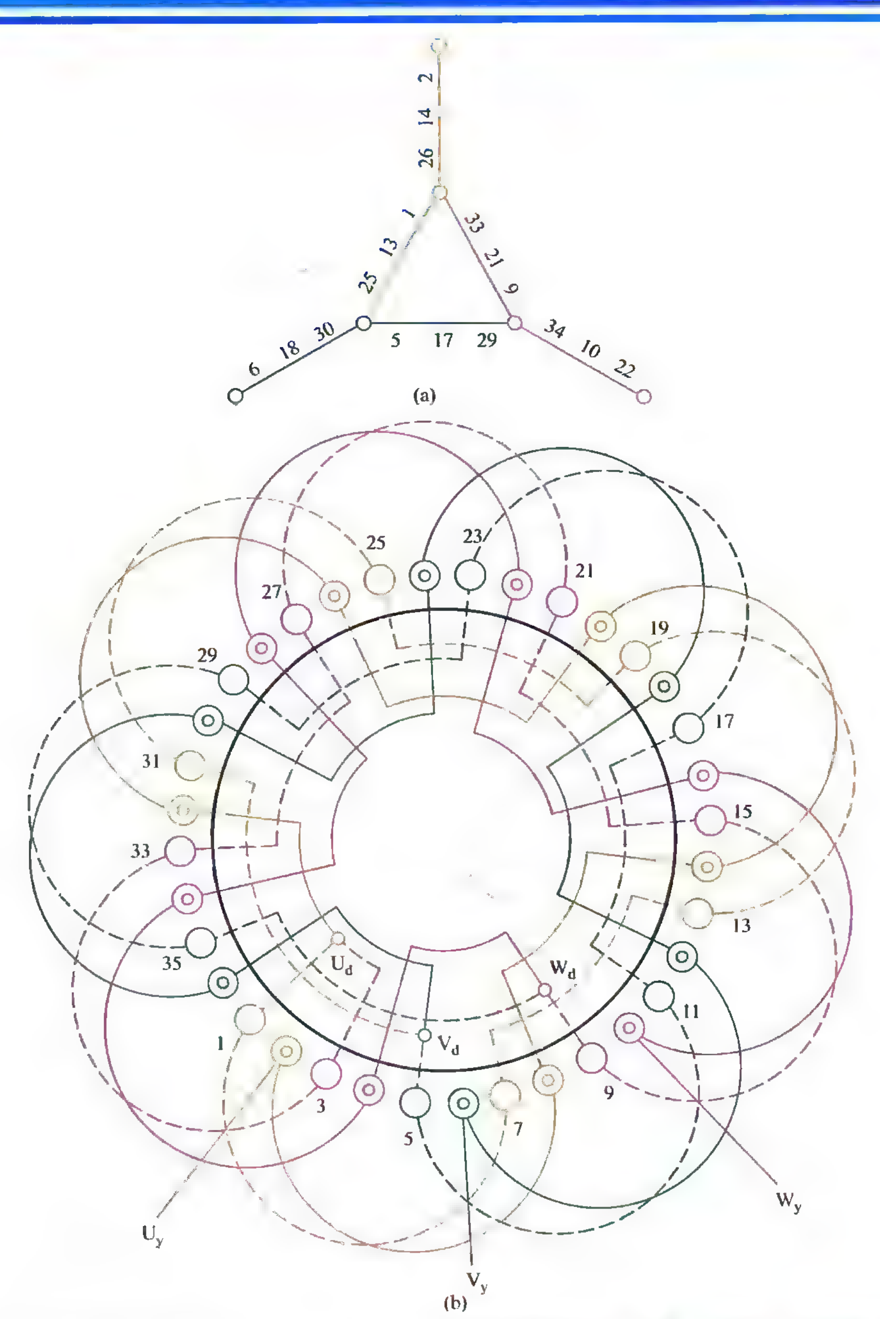


图2-31　36槽6极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.18 30槽2极（$y_d=13$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=30$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=27$	绕组接法	⊿
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=15$
每组圈数	$S_d=2$	线圈节距	$y=11$、12、13、14、15
	$S_y=3$、2	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=5$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=12$	Y线圈数	$Q_y=15$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=12°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.973$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.957$

(2) 绕组布接线特点

本例为单双层正弦绕组，每极每相槽数为奇数（$q=5$），两套绕组采用不等线圈安排，角形部分每组由两只同心双层线圈构成一套单层同心式绕组；星形部分为分数线圈，由双、三圈构成同心交叉式绕组，其中三圈组中的大线圈是单层线圈，其余均为双层线圈。虽较双层布线时减少线圈数目不多，但嵌线时角形吊4边，星形吊5边，均比原来吊边15减少10边以上，给嵌线带来方便。此外，为进一步改善电动机运行性能，本方案还按正弦规律分配匝数。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于JO3-112L-2等一路串联绕组改绕。改绕后正弦绕组参数由表2-1中公式算出N_y、N_d及A_y、A_d，然后再由下式确定各线圈匝数：

星形	同心大线圈匝数	$W_{y1}=N_y$
	同心中线圈匝数	$W_{y2}=0.618W_{y1}$
	同心小线圈匝数	$W_{y3}=0.21W_{y1}$
角形	同心大线圈匝数	$W_{d1}=1.41W_{y1}$
	同心小线圈匝数	$W_{d2}=0.72W_{y1}$

(4) 绕组端面布接线

如图2-32（a）、（b）所示。

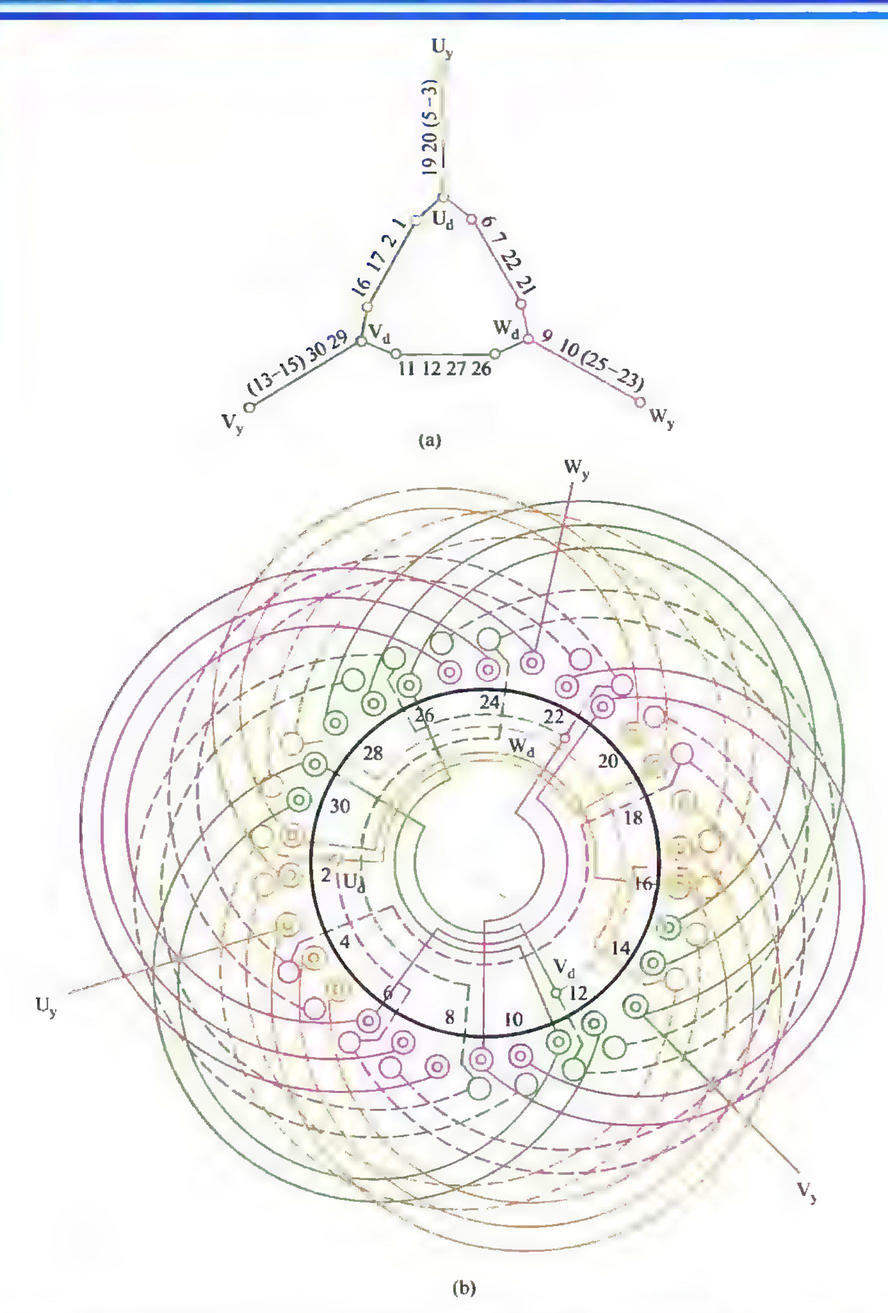


图 2-32　30 槽 2 极（$y_d=13$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉式布线

2.2.19 24槽2极（$y=11$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=24$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=12$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=11$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=6$	Y线圈数	$Q_y=6$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=15°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例采用单层显极式布线，两套绕组占槽相等，且每组线圈数相等，而每组只有一只线圈，故属单链绕组。虽为全距绕组，但每只线圈实际跨距均小于极距，而且总线圈数比双层绕组少一半，具有嵌绕省时、方便等特点。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例主要应用于小容量电机改绕，例如JO2L-52-2等一路接线的绕组，改绕正弦后的基本参数由表2-1中公式求取，然后再由下式计算线圈数据：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-33 (a)、(b) 所示。

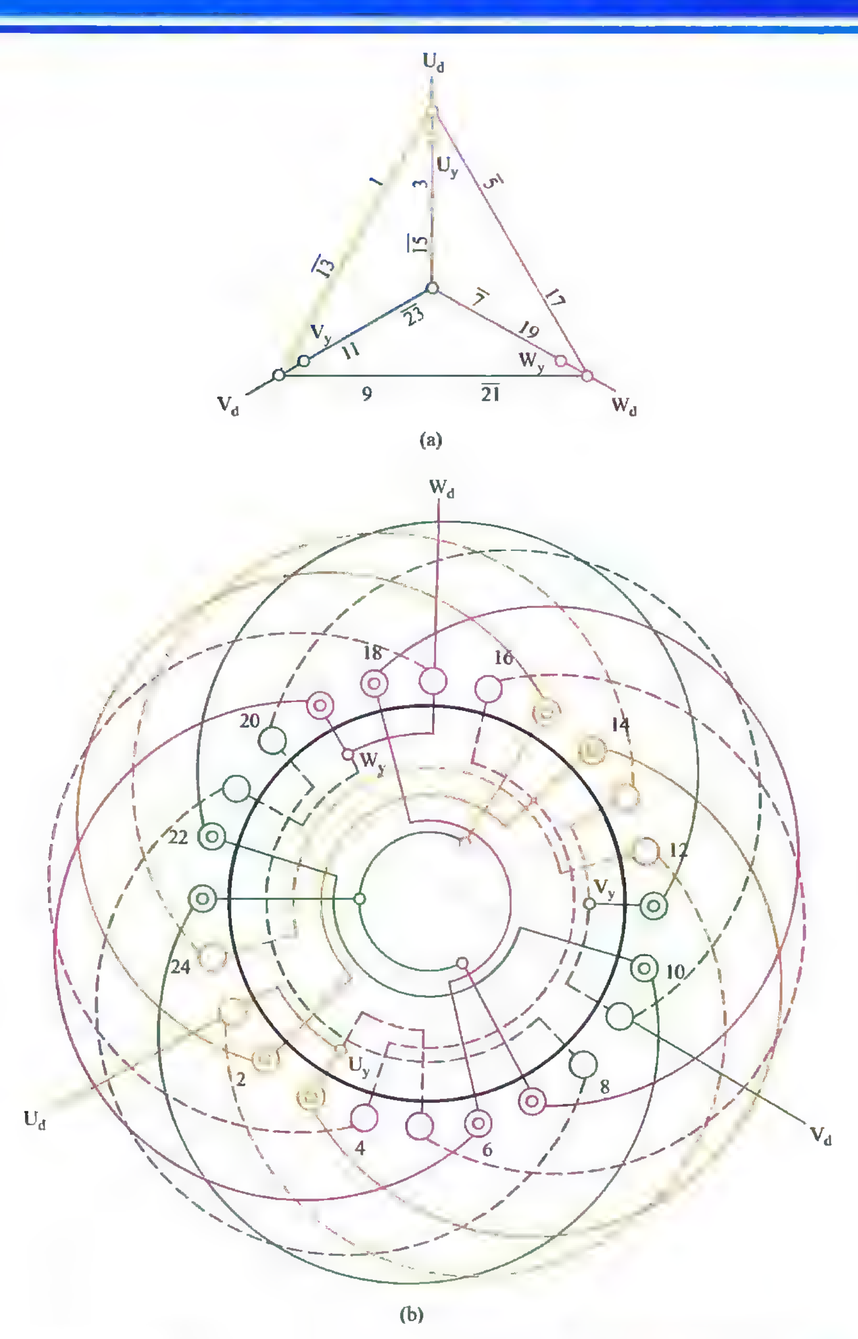


图 2-33　24 槽 2 极（$y=11$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层链式布线

2.2.20 24槽2极（$y=11$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=24$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=12$	绕组接法	$\measuredangle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=12$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=11$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=4$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=6$	Y线圈数	$Q_y=6$
△极相槽	$q_d=2$	Y极相槽	$q_y=2$
每槽电角	$\alpha=15°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例采用单层显极布线，绕组由两套单层链式绕组构成，线圈总数仅为双层绕组的一半；每极相组均为1只线圈。分层嵌线时吊边数少，较普通二极电机线圈绕制及嵌线都方便。常用于小容量电动机，但改绕正弦绕组的性能效果不够理想。

本例嵌线采用分层嵌线，先嵌角形部分的线圈于相应槽，完成后垫好端部绝缘再嵌星形线圈于面层。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组应用于JO2L-42-2等一路串联接线的小容量电机改绕，正弦绕组基本参数由表2-1中公式计算，线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-34（a）、（b）所示。

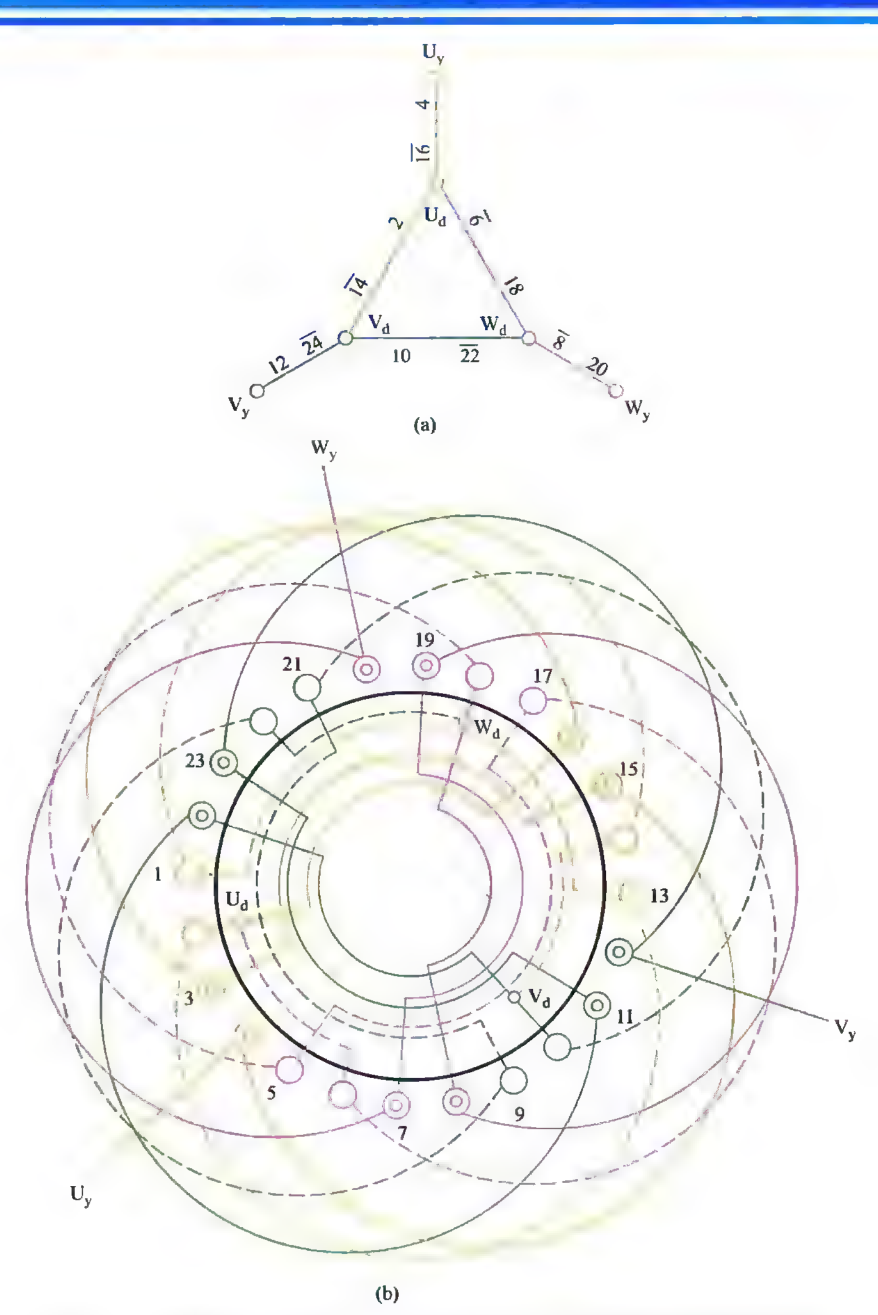


图 2-34　24 槽 2 极（$y=11$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层链式布线

2.2.21　24 槽 4 极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=24$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=12$	绕组接法	$\triangle$
线圈组数	$u=6$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y 联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=6$	Y 线圈数	$Q_y=6$
△极相槽	$q_d=1$	Y 极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例用单层庶极布线，每相均由 2 只线圈顺串而成，即两套绕组均是单层庶极链式绕组，线圈数为四极电机中最少，接线也较简单，嵌线亦方便，但仅为小容量电机采用。

绕组布线采用分层交叠法，先嵌角形部分，完成后再嵌星形部分于面层。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例主要应用于如 JO2L-22-4 等一路接线的小电机改绕。改绕正弦后的基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 等由表 2-1 中公式求取，而线圈匝数由下式确定：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图 2-35 (a)、(b) 所示。

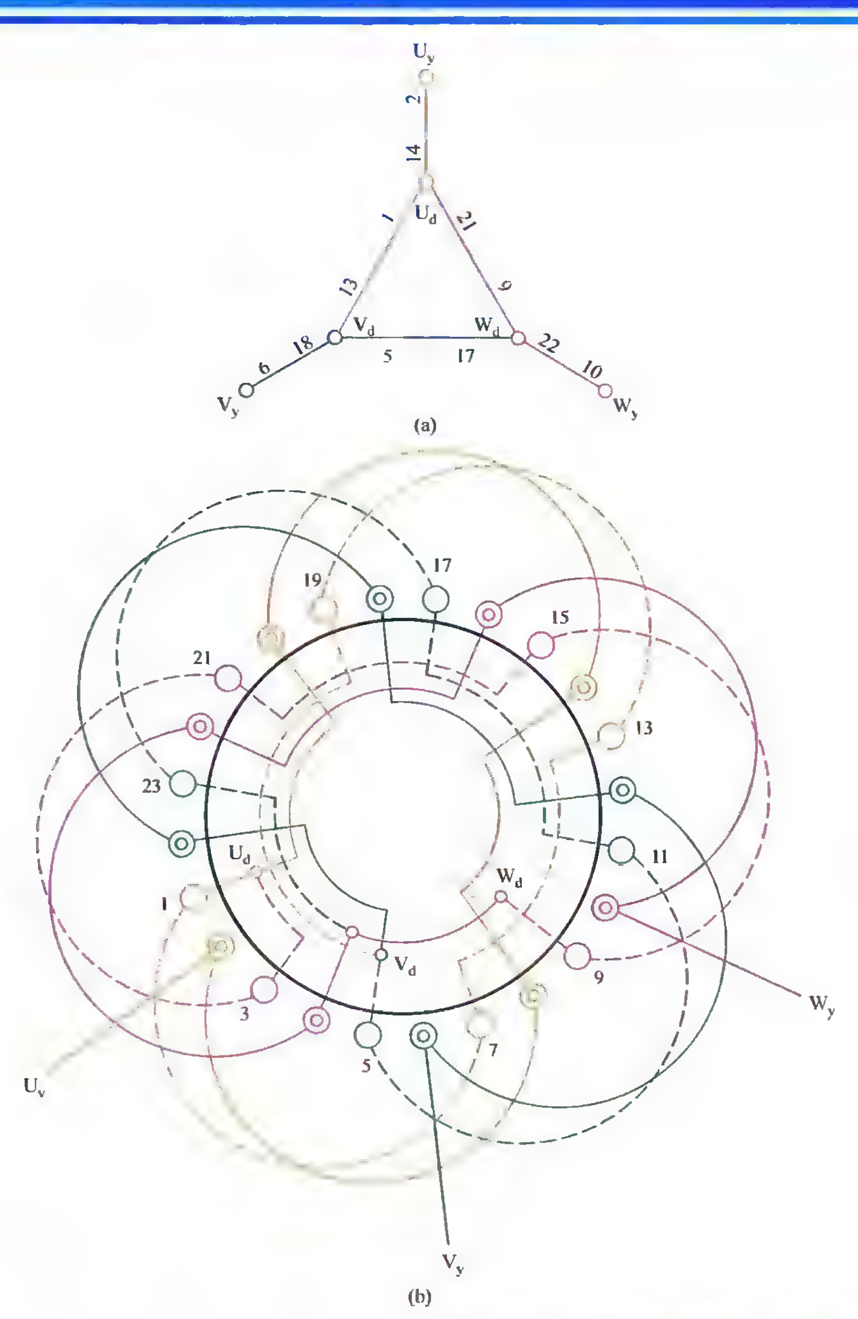


图2.35　24槽4极（$y=6$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.22 24槽4极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=24$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=12$	绕组接法	△
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=6$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=6$
	$S_y=1$	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=2$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=6$	Y线圈数	$Q_y=6$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1$
每槽电角	$\alpha=30°$	绕组系数	$K_{dpd}=1$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=1$

(2) 绕组布接线特点

本例采用庶极布线，实质由两套单层庶极链式绕组构成，是24槽四极正弦绕组中线圈最少的电机。每组只有一只线圈，每相四极仅用两只线圈，因节距相同，两种数据的线圈可用同规格线模绕制。分层嵌线只吊1边，嵌线容易，较省工时。

嵌线时，两套绕组分层嵌入，先将角形部分的线圈嵌入相应槽内，构成单链绕组，垫好层间及端部绝缘，再嵌星形部分线圈。

(3) 绕组改绕应用与换算

本例绕组主要应用于如Y-100L-2等一路接线的小电机改绕。改绕后正弦绕组基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 由表2-1中公式确定，线圈匝数由下式计算：

星形　线圈匝数　$W_y=N_y$

角形　线圈匝数　$W_d=N_d$

(4) 绕组端面布接线

如图2-36（a)、(b）所示。

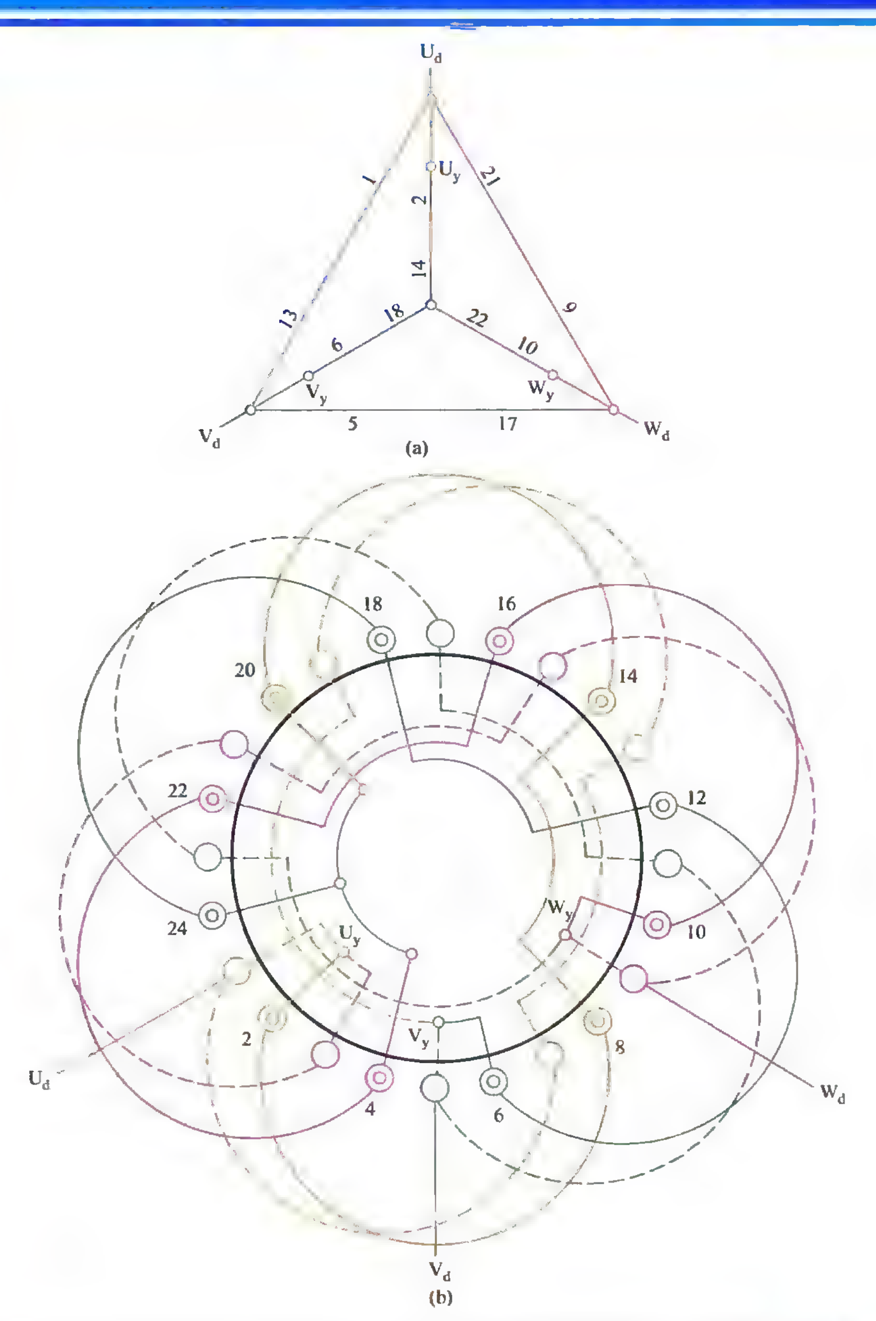


图2.36 21槽4极（$y=6$、$a_d=a_y=1$）内星角形正弦绕组单层（庶极）链式布线

2.2.23 18槽2极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=18$	电机极数	$2p=2$
总线圈数	$Q=15$	绕组接法	$\triangle\!\!\!\angle$
线圈组数	$u=12$	绕组极距	$\tau=9$
每组圈数	$S_d=1$	线圈节距	$y=7$、8、9
	$S_y=2$、1	△联路数	$a_d=1$
极相槽数	$q=3$	Y联路数	$a_y=1$
△线圈数	$Q_d=6$	Y线圈数	$Q_y=9$
△极相槽	$q_d=1$	Y极相槽	$q_y=1\frac{1}{2}$
每槽电角	$\alpha=20°$	绕组系数	$K_{dpd}=0.985$
出线根数	$c=3$		$K_{dpy}=0.96$

（2）绕组布接线特点

本例采用单双层显极布线，每极相槽数 q 为奇数，为充分发挥正弦绕组的优越性能，线圈匝数分布也采用正弦规律安排。两套绕组占槽不相等，故两部分采用不同绕组型式；角形部分每极相由1只双层小线圈构成链式布线；星形部分则由同心单双层线圈组成。因此实质上角形绕组是一单层链式绕组，星形则是一套同心交叉式绕组混合构成。本例较之双层绕组而具有线圈少的特点；分层嵌线吊边数为3，常为小容量电动机采用。

（3）绕组改绕应用与换算

本例绕组适用于JO2L-22-2等一路接线的小容量电机改绕正弦。改绕后的正弦基本参数 N_y、N_d 及 A_y、A_d 可由表2-1中公式计算，各线圈匝数则由下式确定：

星形　单层线圈匝数　$W_{y1}=N_y$

　　　双层线圈匝数　$W_{y2}=0.347W_{y1}$

角形　双层线圈匝数　$W_{d2}=1.185W_{y1}$

（4）绕组端面布接线

如图2-37（a）、（b）所示。

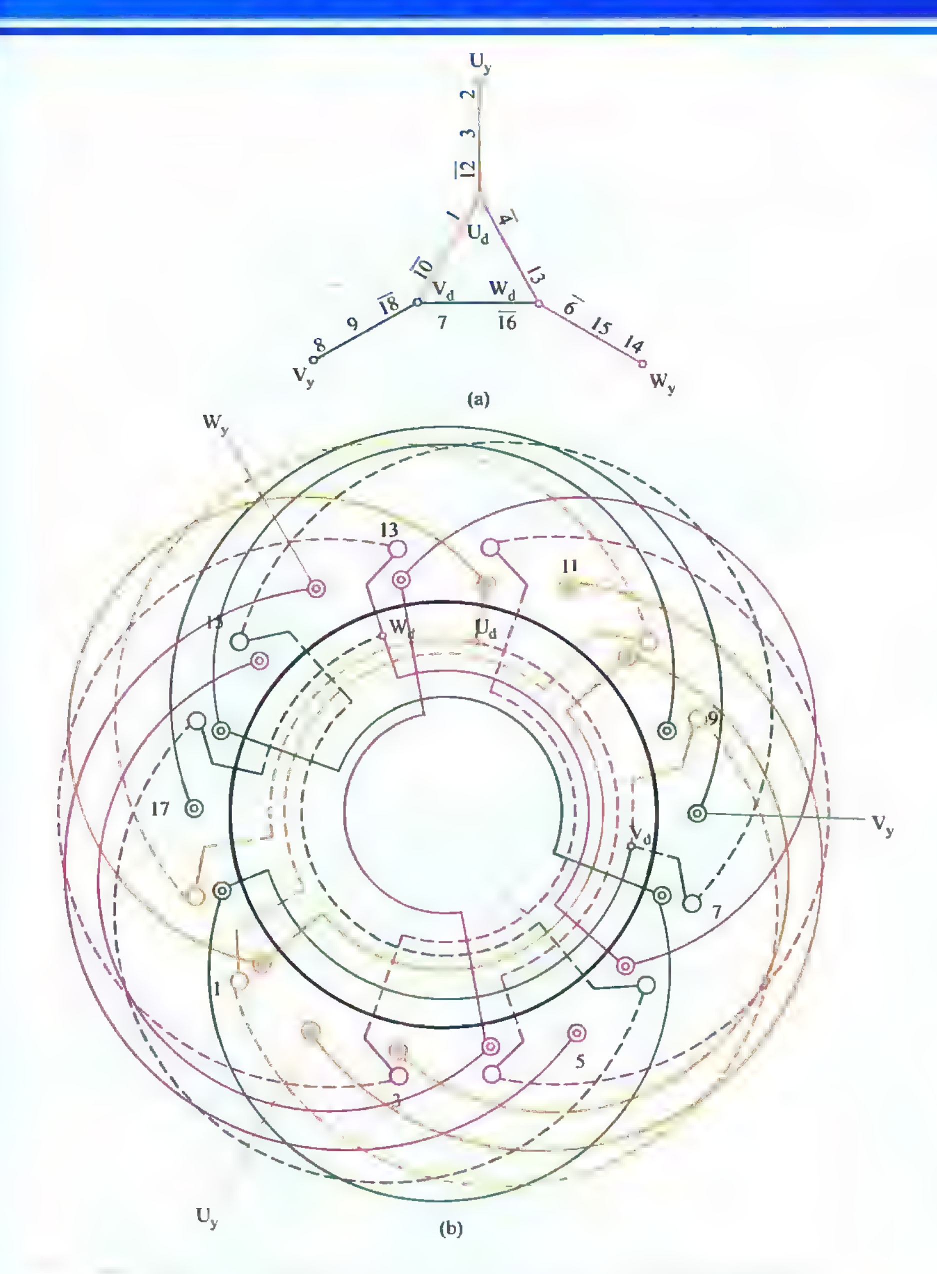


图 2-37　18 槽 2 极（$y_d=8$、$a_y=a_d=1$）内角星形正弦绕组单双层同心交叉-链式布线

第3章

三相交流电动机（转子）波式绕组

笼式异步电动机转子结构简单，其“绕组”无需绝缘，且可在压铸机上将导体金属（铝或铜）在转子铁芯上压铸成型，生产率极高，而且坚固耐用，价格低廉，故为中小型电机采用。但是机械特性能难以改变，因此，如需调速特性的工作场合，通常就要选用绕线式转子电机。在小型绕线式转子中，一般仍用与定子型式相同的单层链式、单层同心式、单层交叉式以及双层叠式绕组；但中大型绕线式转子则主要用波式绕组。

波式绕组是由矩形截面的铜导体拉制成型的棒形元件（半个线圈结构，但也可制成软线圈的），分置于槽的上下层，故属双层布线。两元件之间的连接无需另设连接线，而是通过元件相互焊接连接成波浪形绕组，故称波绕组。目前实际应用有两种型式：一是旧式的双层波绕组，它有较好的电磁性能，引线在转子一端引出，由于出线较多，工艺性较差，容易产生不平衡因素；二是对称换位波绕组，它是较新的绕组型式，没有过渡连线，每相只有首、尾引出线，而且分别从转子两端引出，避免了交叉，故工艺性较好但电磁性能稍差。

波绕组端面模拟画法说明如下。

① 转子绕组对应于定子绕组的出线标记为：

相头：K_1（U1）　L_1（V1）　M_1（W1）

相尾：K_2（U2）　L_2（V2）　M_2（W2）

② 波绕组节距分置于转子前后两端，是连接槽内导体有效边的部分。靠近集电环者称前端；另一端为后端。

③ 绕组表中的上、下是表示线圈有效边所处槽的上、下层次。

④ 为清晰地表示波绕组的布线和绕行接法，三相绕组分别用黄、绿、红三色画出。

3.1　三相双层波式绕组端面布接线图

三相双层波绕组，实用中一般为每槽双有效边布线，但线圈可根据实际情况设计成半圈状的硬线圈或完整的多匝软线圈，而软线圈的节距应以后节距为准。三相引出线共 12 根，其中每相头、尾各一根，绕行支路连接尾线两根；相尾通过铜环连成星点。绕组绕行一周后采用短节距过渡，因此，每相有两组过渡短节距，并分布于转子前端，图中用虚线表示。

（1）绕组主要结构参数

① 总线圈数 Q　双层波绕组三相总线圈数等于转子槽数。

② 极相组数 u　是指构成每极相线圈组的总组数。$u=2pm$。

③ 极相槽数 q　每极每相占有转子铁芯（用槽数表示）的宽度。

$$q=Z_2/2pm$$

④ 并联路数（即并联支路数）a　本图集全部波绕组采用一路串联，即 $a=1$。

⑤ 第一节距 y_1　线圈端部在转子后端连接两槽有效边所跨槽数，故又称后节距，是多匝软线圈制作时的节距。

⑥ 第二节距 y_2　在转子前（铜环）端连接两槽有效边所跨槽数，故又称前节距。

⑦ 过渡节距 y_3　波绕组绕行一周后将回到起始端成为闭合回路，为使绕行能继续，必须将此节距缩短 1 槽作为过渡节距。过渡节距位于转子前端，故又称过渡前距，图中用虚线表示。

（2）波绕组排列表

波绕组转子为上下层结构，每极相通常为整数，但也有用分数槽（$q=$分数）；而每槽圈数常取 1 圈，即上下层各一线圈（铜梗）边，只有功率很大时才设计为每槽双边。

波绕组的绕行路线以表格形式表示，因此绕组排列表也是双层波绕组赖以正确接线的依据。

（3）绕组嵌线方法

双层波绕组的嵌线有两种：交叠嵌线，它只适用于多匝软线圈的波绕组，嵌法与双叠绕组相同；中型以上电机采用硬元件，嵌插入槽后再折弯整形，然后再依图及排列表进行连接。

本节收入三相电机双层波式绕组端面布接线图 10 例。

3.1.1 54槽4极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=54$　并联路数 $a=1$　第一节距 $y_1=1—14$

极相组数 $u=12$　第二节距 $y_2=1—15$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=14$

极相槽数 $q=4\frac{1}{2}$　过渡节距 $y_3=1—14$　$L_1=19$　$L_2=32$

$M_1=37$　$M_2=50$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—14—28—41—54—13—27—40—53—12—26—39—
52—11—25—38—51—10—24—37

K_2——14—27—41—54—13—26—40—53—12—25—39—52—
11—24—38—51

L_1——19—32—46—5—18—31—45—4—17—30—44—3—
16—29—43—2—15—28—42—1

L_2——32—45—5—18—31—44—4—17—30—43—3—16—
29—42—2—15

M_1——37—50—10—23—36—49—9—22—35—48—8—21—
34—47—7—20—33—46—6—19

M_2——50—9—23—36—49—8—22—35—48—7—21—34—
47—6—20—33

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	……	50	51	52	53	54
下层槽号	1	2	3	4	5	……	50	51	52	53	54
嵌入次序	55	56	57	58	59	……	104	105	106	107	108
上层槽号	1	54	53	52	51	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为分数槽绕组，布线时前后节距不相等，$2p/3\neq$整数，三相出线对称，电气和机械对称平衡较好。每相前节距中有7只短距元件。主要应用实例有JR114-4电动机等。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-1 所示。

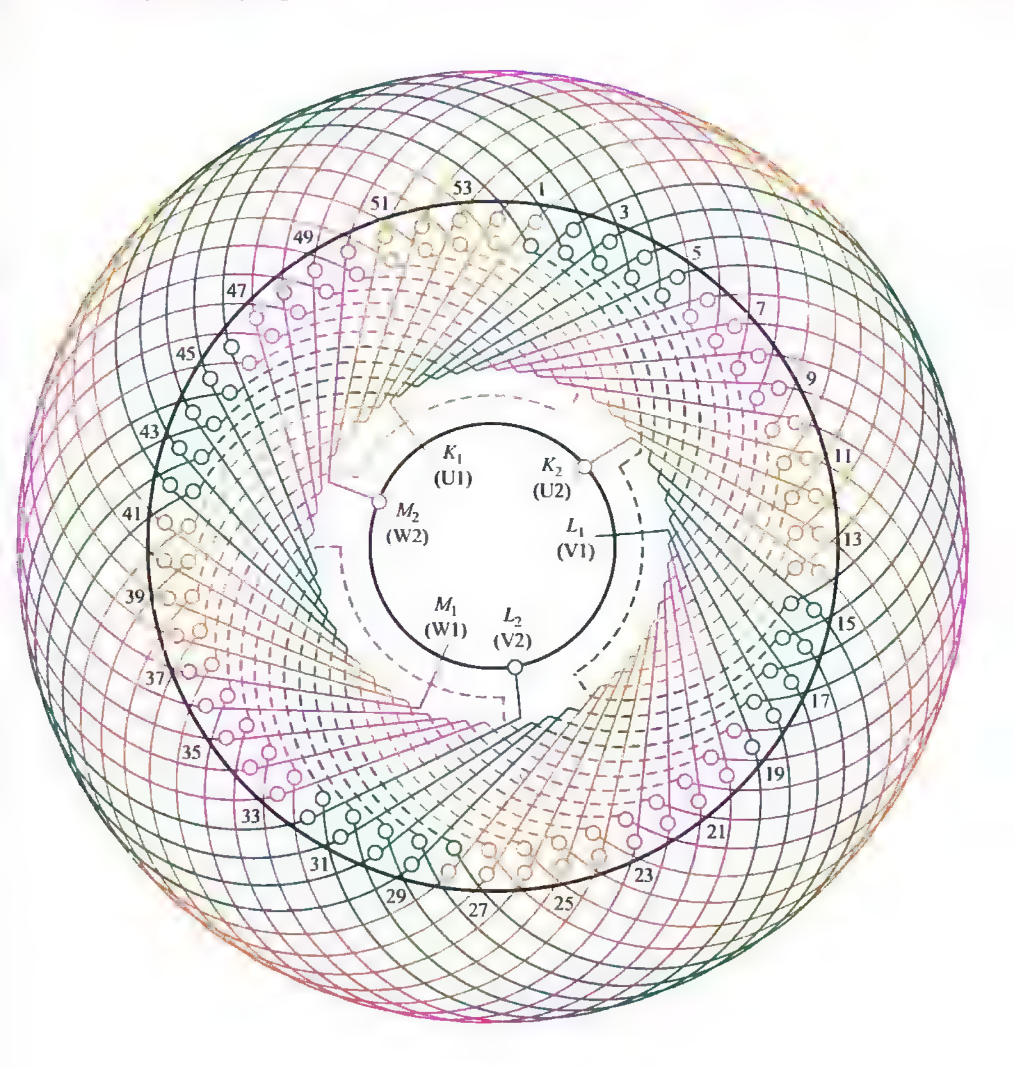


图 3-1　54 槽 4 极双层波绕组

3.1.2　54 槽 6 极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q = 54$　并联路数 $a = 1$　过渡节距 $y_3 = 1—9$

极相组数 $u = 18$　第一节距 $y_1 = 1—10$　出线槽号 $K_1 = 1$　$K_2 = 10$

极相槽数 $q = 3$　第二节距 $y_2 = 1—10$　$L_1 = 13$　$L_2 = 22$

$M_1 = 43$　$M_2 = 52$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—10—19—28—37—46—54—9—18—27—36—45—
53—8—17—26—35—44

K_2——10—19—28—37—46—1—9—18—27—36—45—54—
8—17—26—35—44—53

L_1——13—22—31—40—49—4—12—21—30—39—48—3—
11—20—29—38—47—2

L_2——22—31—40—49—4—13—21—30—39—48—3—12—
20—29—38—47—2—11

M_1——43—52—7—16—25—34—42—51—6—15—24—33—
41—50—5—14—23—32

M_2——52—7—16—25—34—43—51—6—15—24—33—42—
50—5—14—23—32—41

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	……	50	51	52	53	54
下层槽号	1	2	3	4	5	……	50	51	52	53	54
嵌入次序	55	56	57	58	59	……	104	105	106	107	108
上层槽号	1	54	53	52	51	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，$2p/3$ = 整数，三相出线不对称，绕组达不到机械平衡；前后节距相等，每相用 4 只短距元件。主要应用实例有 JR117-4 电动机等。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-2 所示。

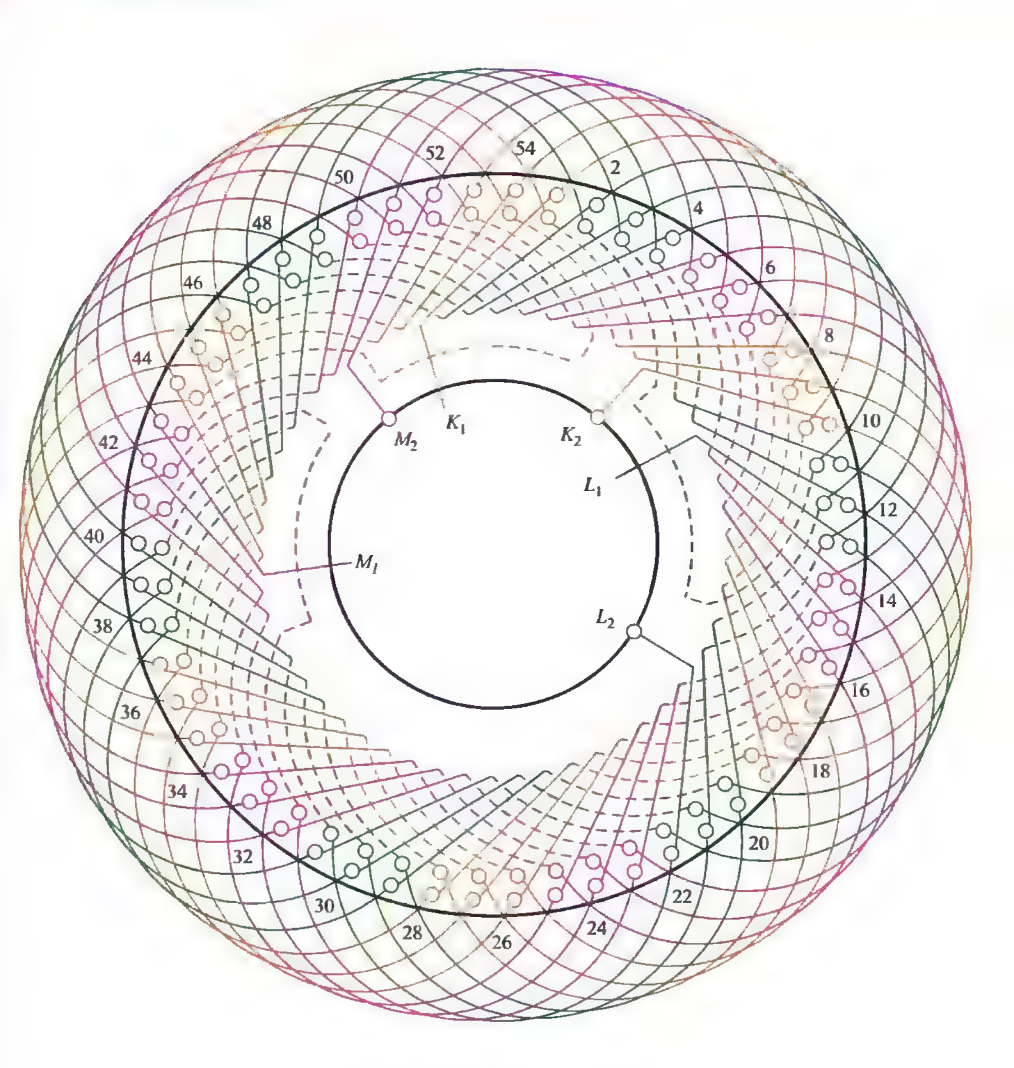


图 3-2　54 槽 6 极双层波绕组

3.1.3 72 槽 4 极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=72$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—18$

极相组数 $u=12$　第一节距 $y_1=1—19$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=19$

极相槽数 $q=6$　第二节距 $y_2=1—19$　$L_1=25$　$L_2=43$

$M_1=49$　$M_2=67$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—19—37—55—72—18—36—54—71—17—35—53—
70—16—34—52—69—15—33—51—68—14—32—50

K_2——19—37—55—1—18—36—54—72—17—35—53—71—
16—34—52—70—15—33—51—69—14—32—50—68

L_1——25—43—61—7—24—42—60—6—23—41—59—5—
22—40—58—4—21—39—57—3—20—38—56—2

L_2——43—61—7—25—42—60—6—24—41—59—5—23—
40—58—4—22—39—57—3—21—38—56—2—20

M_1——49—67—13—31—48—66—12—30—47—65—11—29—
46—64—10—28—45—63—9—27—44—62—8—26

M_2——67—13—31—49—66—12—30—48—65—11—29—47—
64—10—28—46—63—9—27—45—62—8—26—44

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	……	68	69	70	71	72
下层槽号	1	2	3	4	5	……	68	69	70	71	72
嵌入次序	73	74	75	76	77	……	140	141	142	143	144
上层槽号	1	72	71	70	69	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例 $2p/3\neq$ 整数，三相出线能对称安排，电气和机械对称平衡较好，前后节距相等，每相短距过渡元件数为 10。主要应用实例有 JR158-4 电动机等。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-3 所示。

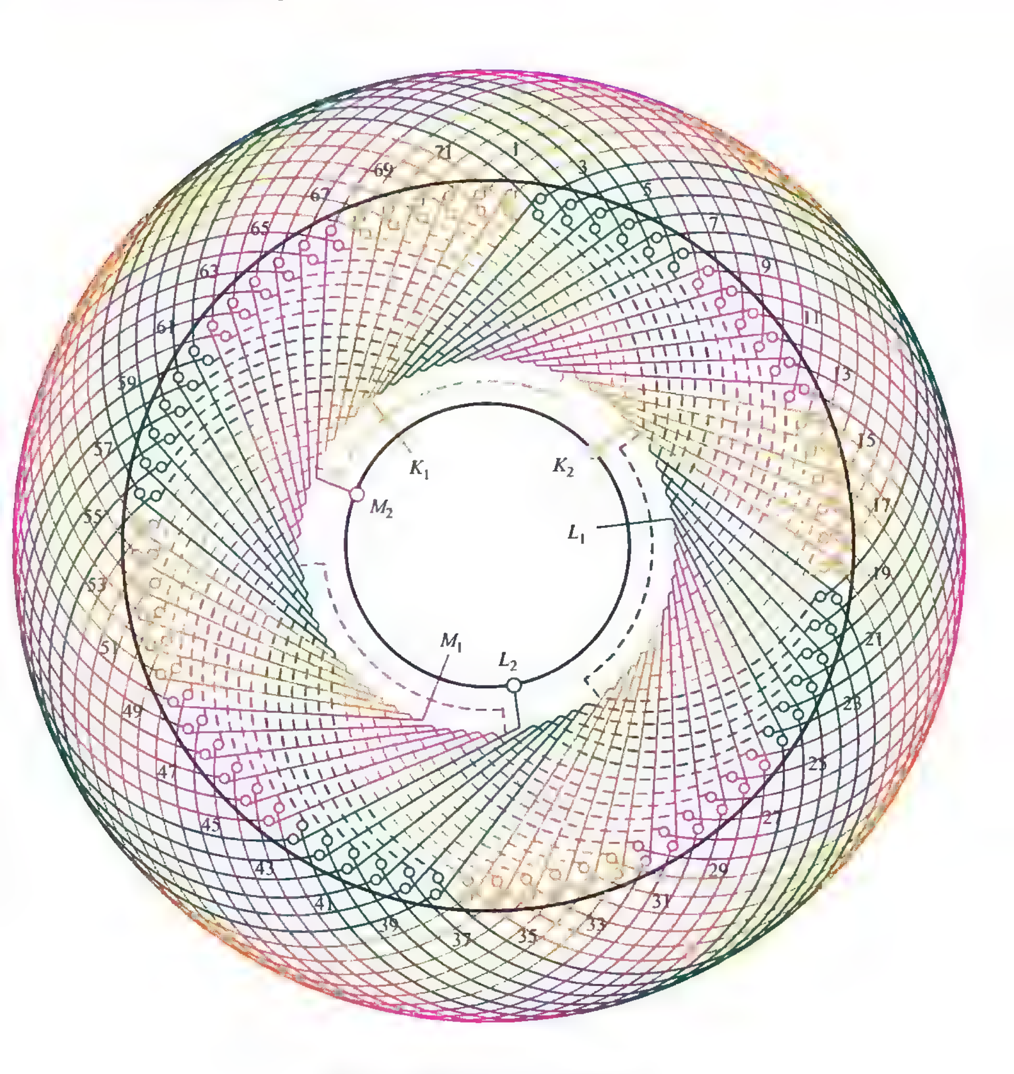


图 3-3 72 槽 4 极双层波绕组

3.1.4　72 槽 6 极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=72$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—12$

极相组数 $u=8$　第一节距 $y_1=1—13$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=13$

极相槽数 $q=4$　第二节距 $y_2=1—13$　$L_1=17$　$L_2=29$

$M_1=57$　$M_2=69$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—13—25—37—49—61—72—12—24—36—48—60—

71—11—23—35—47—59—70—10—22—34—46—58

K_2——13—25—37—49—61—1—12—24—36—48—60—72—

11—73—35—47—59—71—10—22—34—46—58—70

L_1——17—29—41—53—65—5—16—28—40—52—64—4—

15—27—39—51—63—3—14—26—38—50—62—2

L_2——29—41—53—65—5—17—28—40—52—64—4—16—

27—39—51—63—3—15—26—38—50—62—2—14

M_1——57—69—9—21—33—45—56—68—8—20—32—44—

55—67—7—19—31—43—54—66—6—18—30—42

M_2——69—9—21—33—45—57—68—8—20—32—44—56—

67—7—19—31—43—55—66—6—18—30—42—54

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	……	68	69	70	71	72
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	……	68	69	70	71	72
嵌入次序	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	……	140	141	142	143	144
上层槽号	1	72	71	70	69	68	67	66	65	64	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例 $2p/3=$ 整数，三相出线无法对称安排，不能达到机械平衡；前后节距相等并采用 6 只短距元件。主要应用实例有 JR116-4 电动机等。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-4 所示。

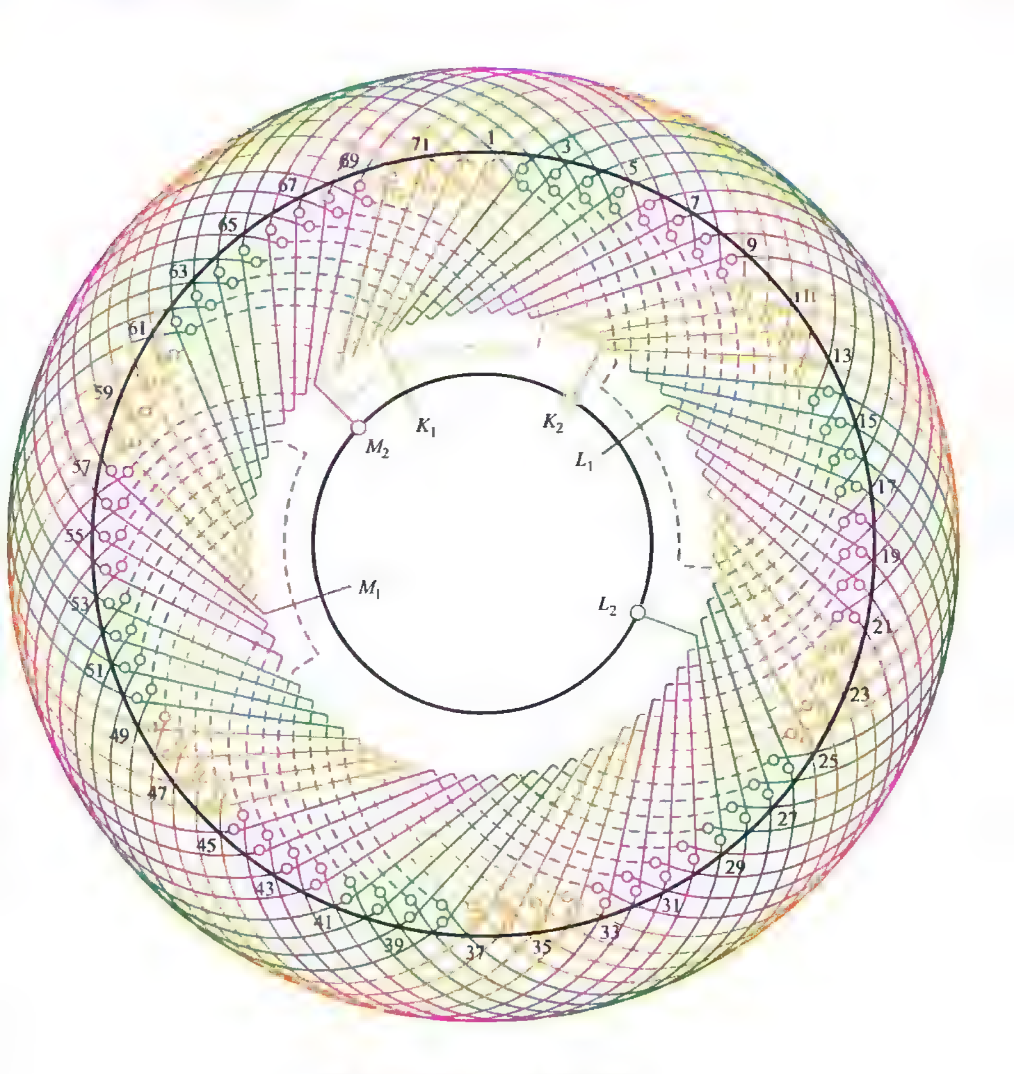


图 3-4 72 槽 6 极双层波绕组

3.1.5 72槽10极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=75$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—8$

极相组数 $u=30$　第一节距 $y_1=1—8$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=8$

极相槽数 $q=2\frac{1}{2}$　第二节距 $y_2=1—9$　$L_1=26$　$L_2=33$

$M_1=51$　$M_2=58$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—8—16—23—31—38—46—53—61—68—75—7—
15—22—30—37—45—52—60—67—74—6—14—21—
29—36—44—51—59—66

K_2——8—15—23—30—38—45—53—60—68—75—7—14—
22—29—37—44—52—59—67—74

L_1——26—33—41—48—56—63—71—3—11—18—25—32—
40—47—55—62—70—2—10—17—24—31—39—46—
54—61—69—1—9—16

L_2——33—40—48—55—63—70—3—10—18—25—32—39—
47—54—62—69—2—9—17—24

M_1——51—58—66—73—6—13—21—28—36—43—50—57—
65—72—5—12—20—27—35—42—49—56—64—71—
4—11—19—26—34—41

M_2——58—65—73—5—13—20—28—35—43—50—57—64—
72—4—12—19—27—34—12—49

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	……	72	73	74	75
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	……	72	73	74	75
嵌入次序	76	77	78	79	80	81	82	……	146	147	148	149	150
上层槽号	1	75	74	73	72	71	70	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为分数槽绕组，前后节距采用不等距轮换布线，每相有3只短距线圈。$2p/3\neq$整数，三相出线可满足电气和机械对称平衡。主要应用实例有JR115-10等绕线转子三相异步电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-5 所示。

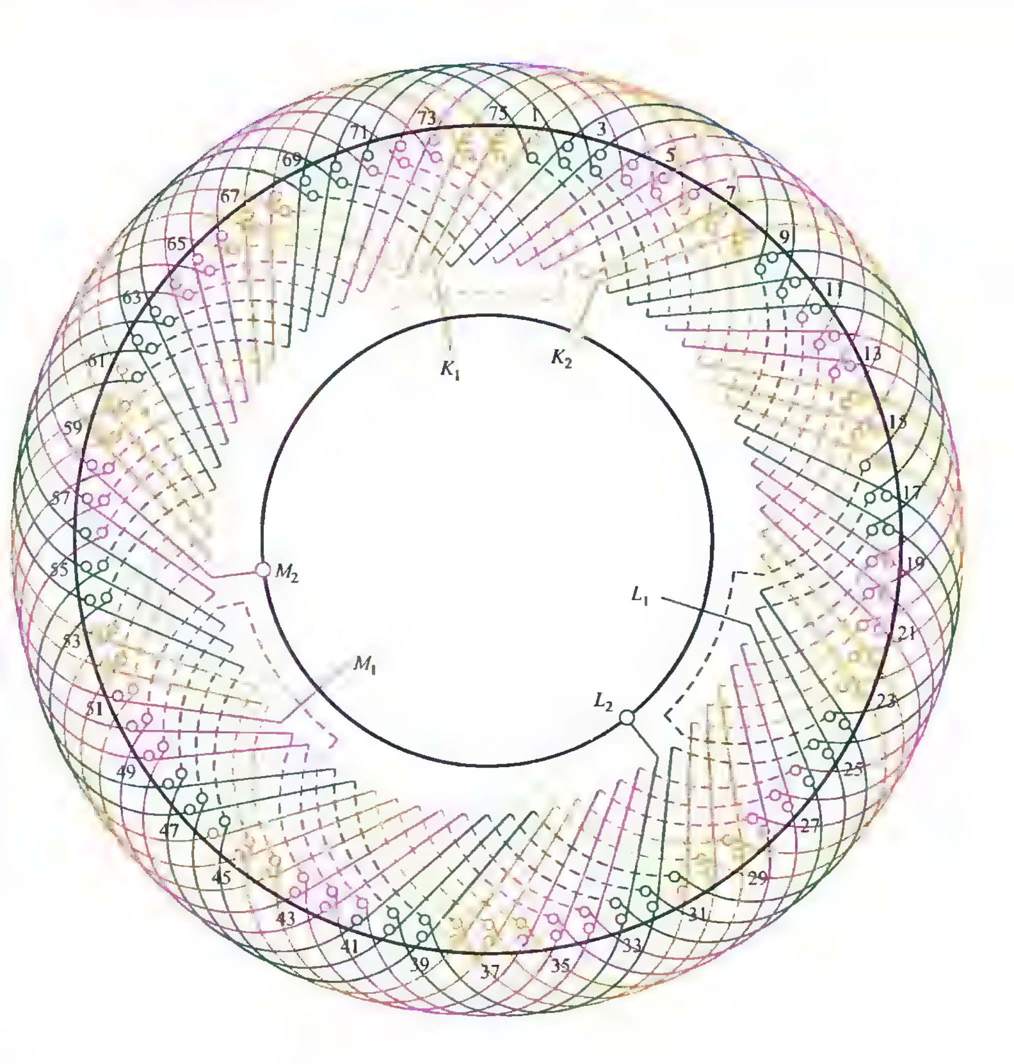


图 3-5 72 槽 10 极双层波绕组

3.1.6 81槽6极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=81$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—14$

极相组数 $u=18$　第一节距 $y_1=1—14$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=14$

极相槽数 $q=4\frac{1}{2}$　第二节距 $y_2=1—15$　$L_1=19$　$L_2=32$

$M_1=37$　$M_2=50$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—14—28—41—55—68—81—13—27—40—54—67—
80—12—26—39—53—66—79—11—25—38—52—65—
78—10—24—37—51—64——

K_2——14—27—41—54—68—81—13—26—40—53—67—80—
12—25—39—52—66—79—11—24—38—51—65—78——

L_1——19—32—46—59—73—5—18—31—45—58—72—4—
17—30—44—57—71—3—16—29—43—56—70—2—
15—28—42—55—69—1——

L_2——32—45—59—72—5—18—31—44—58—71—4—17—
30—43—57—70—3—16—29—42—56—69—2—15——

M_1——37—50—64—77—10—23—36—49—63—79—9—22—
35—48—62—75—8—21—34—47—61—74—7—20—
33—46—60—73—6—19——

M_2——50—63—77—9—23—36—49—62—76—8—22—35—
48—61—75—7—21—34—47—60—47—6—20—33——

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	……	78	79	80	81
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	……	78	79	80	81
嵌入次序	82	83	84	85	86	87	88	……	159	160	161	162
上层槽号	1	81	80	79	78	77	76	……	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例绕组系分数槽布线，前后节距采用不等距轮换，每相有7只短距元件。三相出线无法对称分布，机械平衡较差。主要应用实例有JRQ148-6等电动机。

（5）绕组端面布接线

如图 3-6 所示。

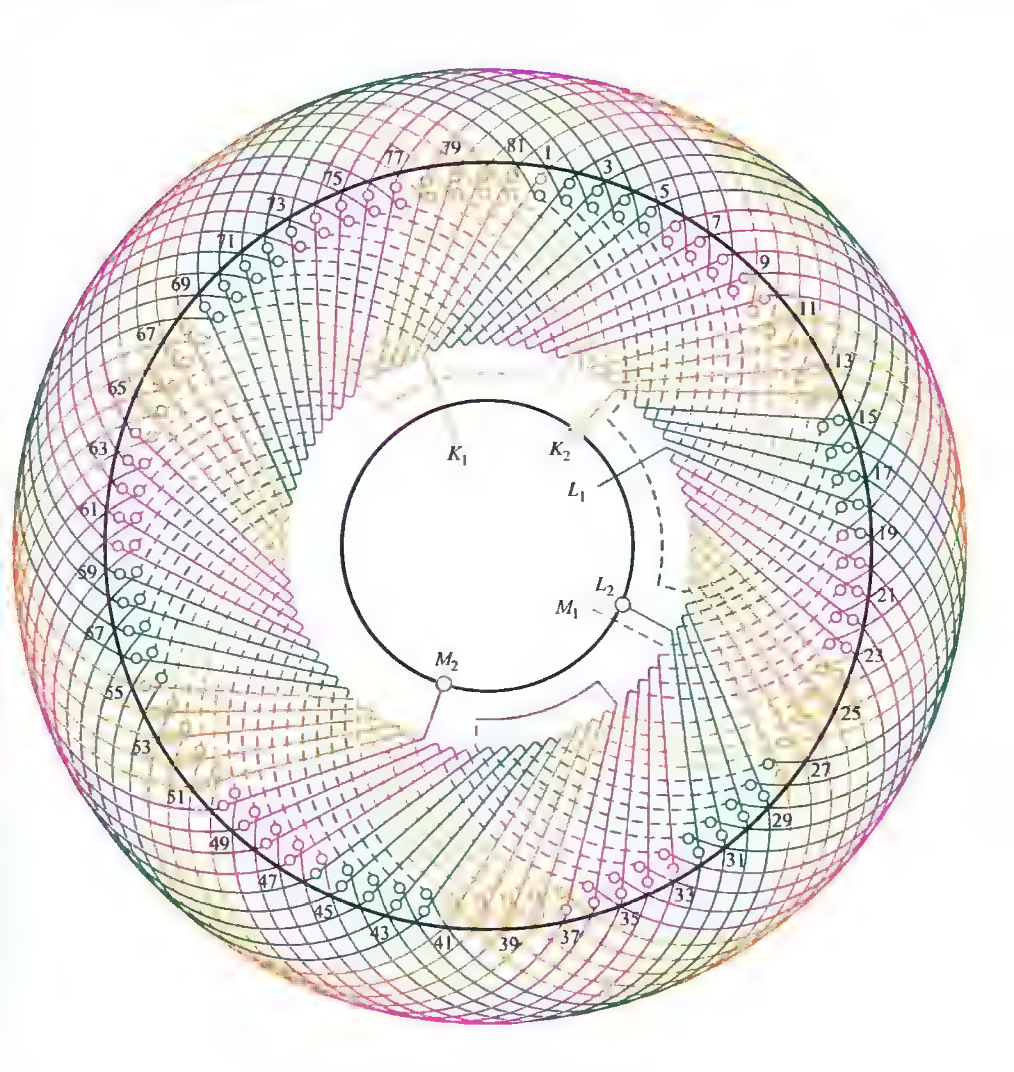


图 3-6　81 槽 6 极双层波绕组

3.1.7　84 槽 8 极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=84$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—11$

极相组数 $u=24$　第一节距 $y_1=1—11$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=11$

极相槽数 $q=3\frac{1}{2}$　第二节距 $y_2=1—12$　$L_1=29$　$L_2=39$

$M_1=37$　$M_2=67$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—11—22—32—43—53—64—74—84—10—21—31—
42—52—63—73—83—9—20—30—41—51—62—72—
82—8—19—29—40—50—61—71——

K_2——11—21—32—42—53—63—74—84—10—20—31—41—
52—62—73—83—9—19—30—40—51—61—72—82——

L_1——29—39—50—60—71—81—8—18—28—38—49—59—
70—80—7—17—27—37—48—58—69—79—6—16—
26—36—47—57—68—78—5—15——

L_2——39—49—60—70—81—7—18—28—38—48—59—69—
80—6—17—27—37—46—58—68—79—5—16—26——

M_1——57—67—78—4—15—25—36—46—56—66—77—3—
14—24—35—45—55—65—76—2—13—23—34—44—
54—64—75—1—12—22—33—43——

M_2——67—77—4—14—25—35—46—56—66—76—3—13—
24—34—45—55—65—75—2—12—23—33—44—54——

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	……	81	82	83	84
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	……	81	82	83	84
嵌入次序	85	86	87	88	89	90	91	92	……	165	166	167	168
上层槽号	1	84	83	82	81	80	79	78	……	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例采用分数槽方案，每极相采用不等距轮换，故形成 3、4 线圈交替布线，每相用 5 只短距线圈；$2p/3\neq$整数，三相出线可达到电气和机械对称平衡。主要应用实例有 JR115-8 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-7 所示。

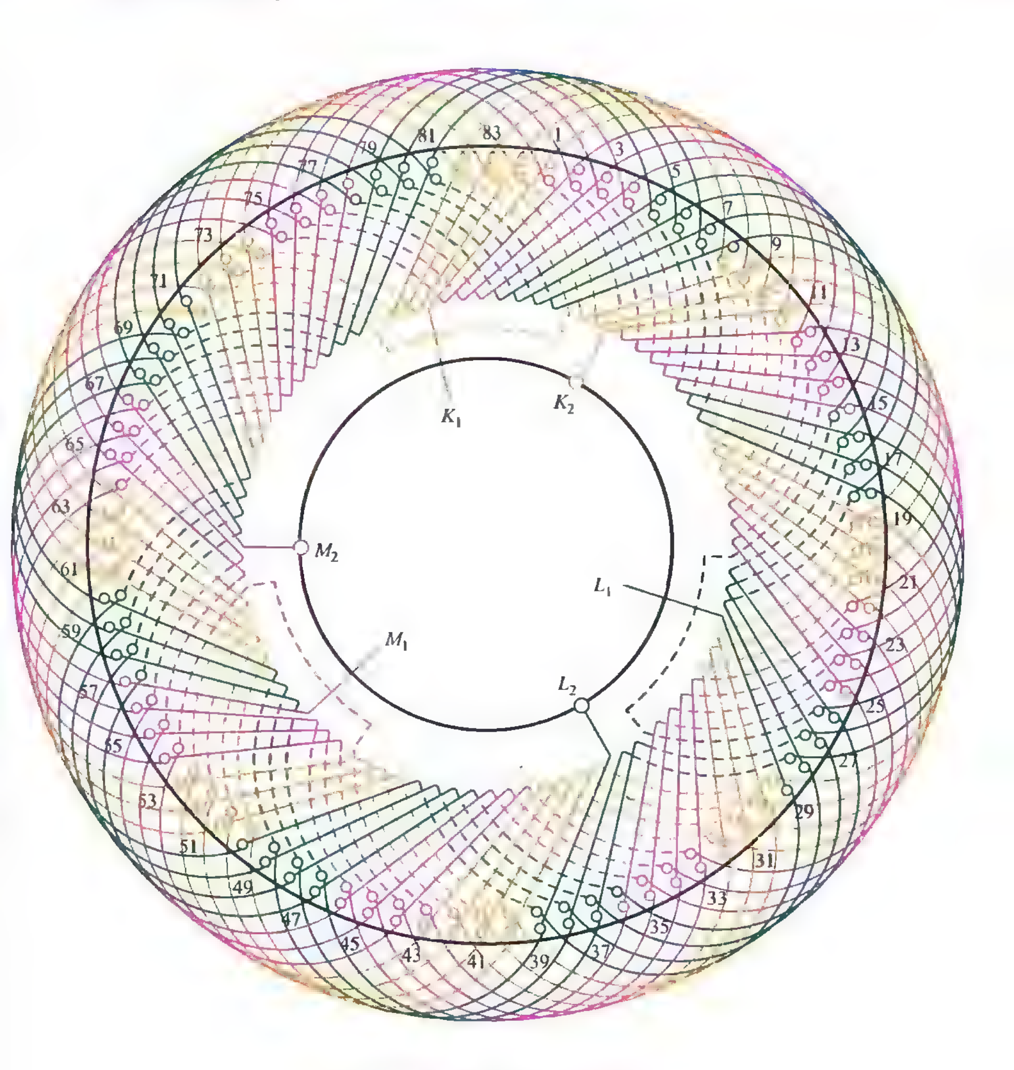


图 3-7　84 槽 8 极双层波绕组

3.1.8 90槽6极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=90$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—15$

极相组数 $u=18$　第一节距 $y_1=1—16$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=16$

极相槽数 $q=5$　第二节距 $y_2=1—16$　$L_1=21$　$L_2=36$

$M_1=71$　$M_2=86$

(2) 绕组排列表

下 上 下 上 下 上 下 上 下 上 下 上

K_1——1—16—31—46—61—76—90—15—30—45—60—75—
89—14—29—44—59—74—88—13—28—43—58—73—
87—12—27—42—57—72

K_2——16—31—46—61—76—1—15—30—45—60—75—90—
14—29—44—59—74—89—13—28—43—58—73—88—
12—27—42—57—72—87

L_1——21—36—51—66—81—6—20—35—50—65—80—5—
19—34—49—64—79—4—18—33—48—63—78—3—
17—32—47—62—77—2

L_2——36—51—66—81—6—21—35—50—65—80—5—20—
34—49—64—79—4—19—33—48—63—78—3—18—
32—47—62—77—2—17

M_1——71—86—11—26—41—56—70—85—10—25—40—55—
69—84—9—24—39—54—68—83—8—23—38—53—
67—82—7—22—37—52

M_2——86—11—26—41—56—71—85—10—25—40—55—70—
84—9—24—39—54—69—83—8—23—38—53—68—
82—7—22—37—52—67

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	……	87	88	89	90
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	……	87	88	89	90
嵌入次序	91	92	93	94	95	96	97	98	99	……	177	178	179	180
上层槽号	1	90	89	88	87	86	85	84	83	……	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例绕组为整数槽方案，前后节距相等，但三相出线无法安排对称，不能满足机械平衡要求。每相前距有 8 只短距线圈。主要应用实例有 JR136-6 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-8 所示。

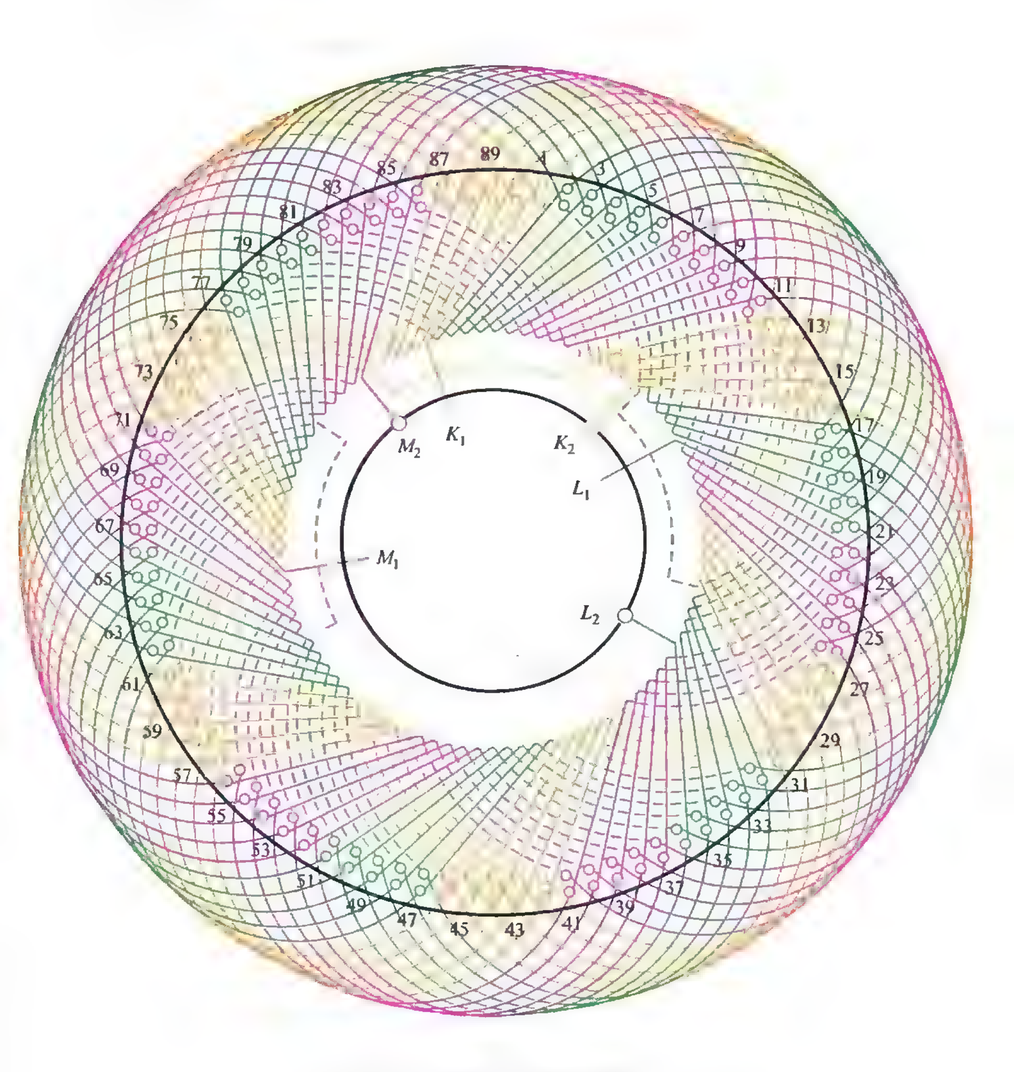


图 3-8 90 槽 6 极双层波绕组

3.1.9 96 槽 8 极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=96$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—12$

极相组数 $u=24$　第一节距 $y_1=1—13$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=13$

极相槽数 $q=4$　第二节距 $y_2=1—13$　$L_1=33$　$L_2=45$

$M_1=65$　$M_2=77$

(2) 绕组排列表

下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上

K_1——1—13—25—37—49—61—73—85—96—12—24—36—
48—60—72—84—95—11—23—35—47—59—71—83—
94—10—22—34—46—58—70—82

K_2——13—25—37—49—61—73—85—1—12—24—36—48—
60—72—84—96—11—23—35—47—59—71—83—96—
10—22—34—46—58—70—82—94

L_1——33—45—57—69—81—93—9—21—32—44—56—68—
80—92—8—20—31—43—55—67—79—91—7—19—
30—42—54—66—78—90—6—18

L_2——45—57—69—81—93—9—21—33—44—56—68—80—
92—8—20—32—43—55—67—79—91—7—19—31—
42—54—66—78—90—6—18—30

M_1——65—77—89—5—17—29—41—53—64—76—88—4—
16—28—40—52—63—75—87—3—15—27—39—51—
62—74—86—2—14—26—38—50

M_2——77—89—5—17—29—41—53—65—76—88—4—16—
28—40—52—64—75—87—3—15—27—39—51—63—
74—86—2—14—26—38—50—62

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	……	93	94	95	96
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	……	93	94	95	96
嵌入次序	97	98	99	100	101	102	103	104	105	……	189	190	191	192
上层槽号	1	96	95	94	93	92	91	90	89	……	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例 $2p/3 \neq$ 整数，三相出线可对称，能同时获得电气和机械平衡。每相有 6 只短距线圈，前后节距相等。主要应用有 JR136-8 等绕线转子异步电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-9 所示。

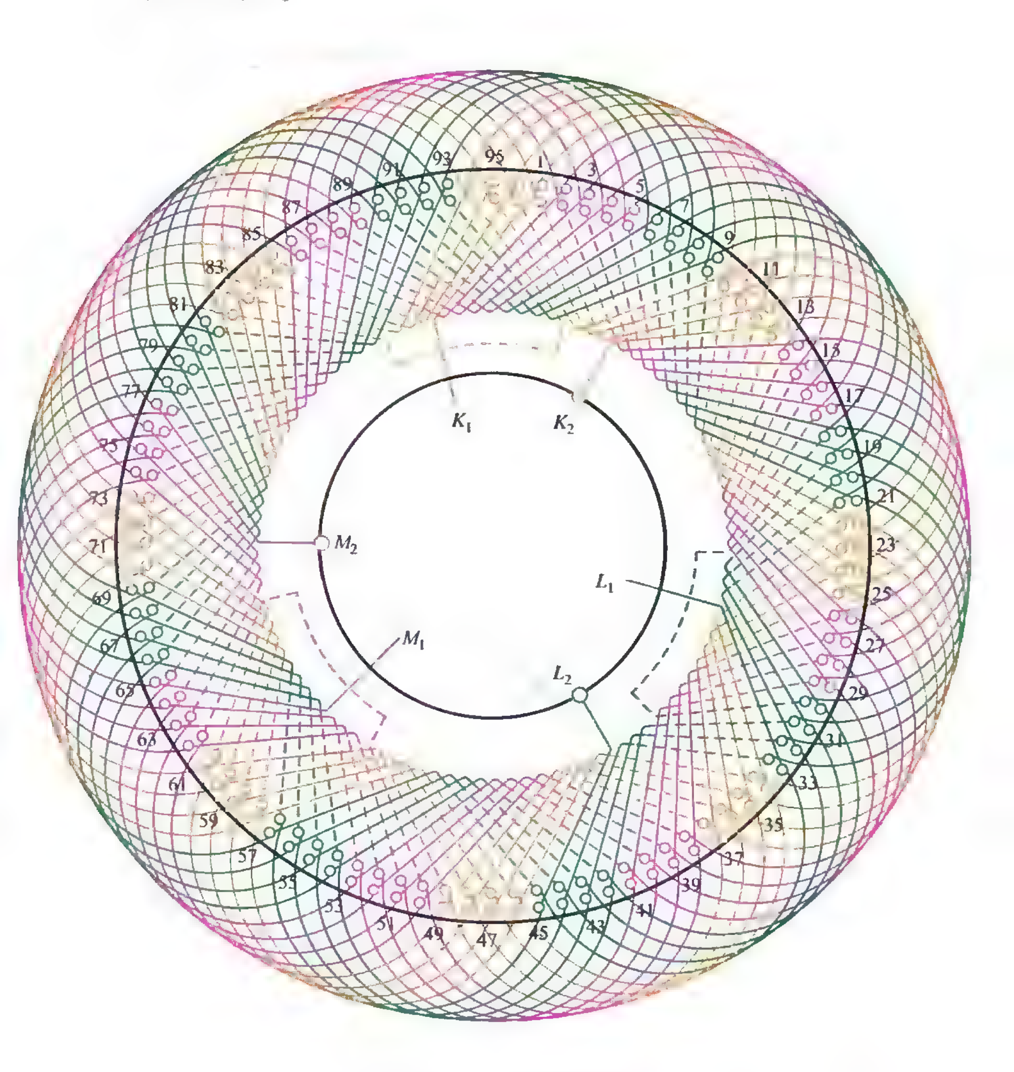


图 3-9　96 槽 8 极双层波绕组

3.1.10　108槽12极双层波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=108$　并联路数 $a=1$　过渡节距 $y_3=1—9$

极相组数 $u=36$　第一节距 $y_1=1—10$　出线槽号 $K_1=1$　$K_2=10$

极相槽数 $q=3$　第二节距 $y_2=1—10$　$L_1=31$　$L_2=40$

$M_1=79$　$M_2=88$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—10—19—28—37—46—55—64—73—82—91—100—

108—9—18—27—36—45—54—63—72—81—90—99—

107—8—17—26—35—44—53—62—71—80—89—98

K_2——10—19—28—37—46—55—64—73—82—91—100—1—

9—18—27—36—45—54—63—72—81—90—99—108—

8—17—26—35—44—53—62—71—80—89—98—107

L_1——31—40—49—58—67—76—85—94—103—4—13—22—

31—39—48—57—66—75—84—93—102—3—12—21—

29—38—47—56—65—74—83—92—101—2—11—20

L_2——40—49—58—67—76—85—94—103—4—13—22—31—

39—48—57—66—75—84—93—102—3—12—21—30—

38—47—56—65—74—83—92—101—2—11—20—29

M_1——79—88—97—106—7—16—25—34—43—52—61—70—

78—87—96—105—6—15—24—33—42—51—60—69—

77—86—95—104—5—14—23—32—41—50—59—68

M_2——88—97—106—7—16—25—34—43—52—61—70—79—

87—96—105—6—15—24—33—42—51—60—69—78—

86—95—104—5—14—23—32—41—50—59—68—77

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	……	104	105	106	107	108
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	……	104	105	106	107	108
嵌入次序	109	110	111	112	113	114	115	116	……	212	213	214	215	216
上层槽号	1	108	107	106	105	104	103	102	……	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，三相出线不对称，机械平衡性差。每相有4只短距线圈。主要实例有JRQ158-12等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图3-10所示。

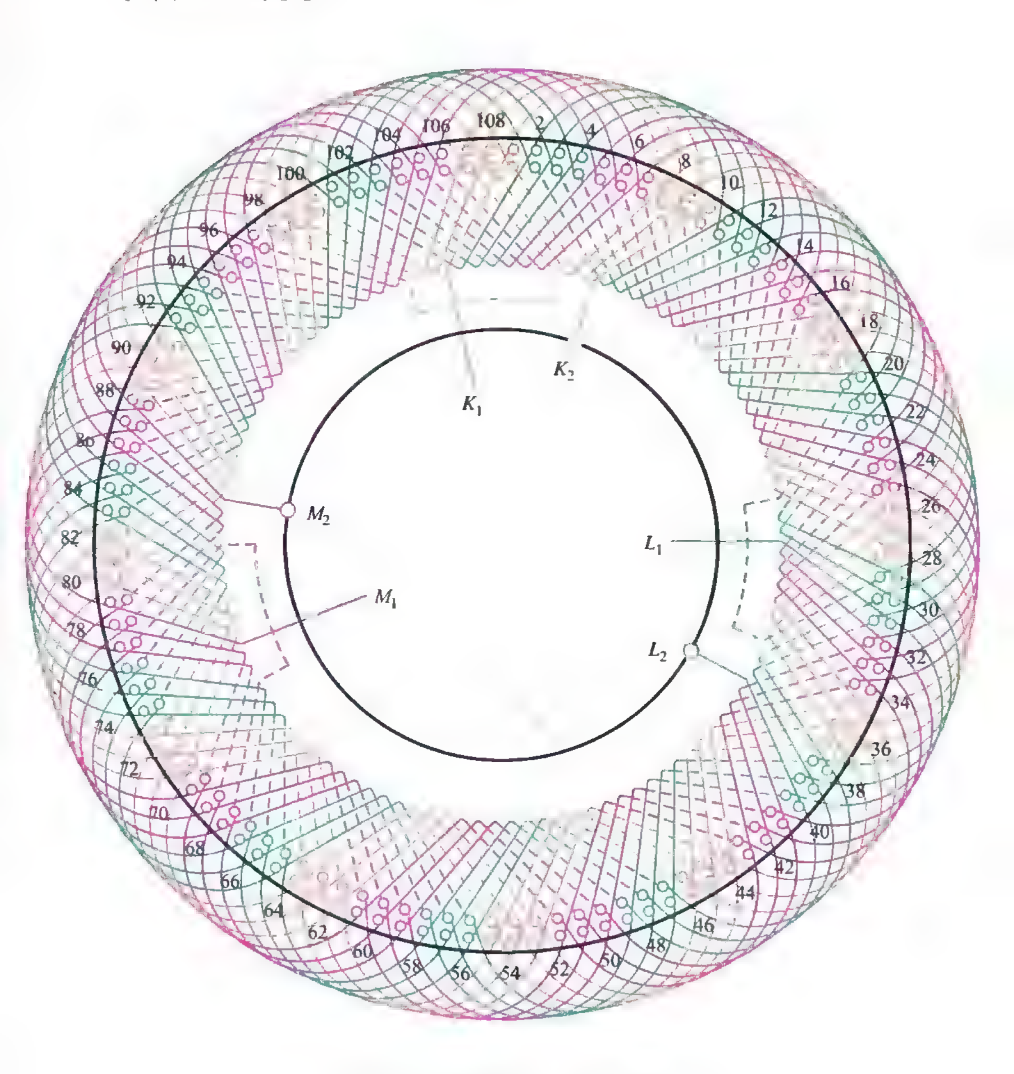


图3-10　108槽12极双层波绕组

3.2 三相对称换位波式绕组端面布接线图

双层波式属老的绕组型式，除用于交流转子绕组之外，由于极相组间的连接线较少，也常被大型电动机和同步发电机定子采用；但若用于转子，为了降低对动平衡的影响因素，通常就选用没有过渡连接线的对称换位波绕组。

三相对称换位波绕组是根据双层波绕组改进而来，它将绕行支路连接尾线省去，并推前一槽在槽内交换连接；本节图中的换位槽用着色画出。

对称换位与普通波绕组的区分是现场检修必须掌握的，否则工作就无法进行。通常可根据如下外部特征去辨别：

① 双层波绕组出线在单边，而换位波绕组分别在转子两端出线；

② 换位波绕组前端仅有 3 根出线并分别与 3 个铜环相接，后端则接成环形星点；双层波绕组除在前端出 6 根线分别接入铜环和连接成星点外，还有三相连接线；

③ 换位波绕组后端突起座每相要少 3 块；

④ 换位波绕组每相少一元件线圈，故上层和下层各有 3 槽缺空上、下层铜导体，而以其他绝缘物代替充填。

因此，对称换位波绕组具有如下特点：

① 每相少一线圈，并可省去 3 根连接线、3 个突起座的材料及其焊接工艺；

② 转子端部减少接线可降低风摩损耗，并从工艺上减少机械不平衡因素；

③ 放置及制作换位元件费工耗时；

④ 绕行线路缩短后，转子阻抗减少而使电流略有增加。

所以，目前绕线型转子中，两种型式的绕组并行使用。

(1) 绕组参数

波绕组采用换位元件后，为了完成绕行，除在前端使用过渡节距连

接外，后端也要使用过渡节距，因此，当每极相槽数 $q \neq$ 整数时，绕组便出现4种节距并用。

① 第一节距 y_1　又称后节距。是指转子输出轴（非集电环）端的线圈（元件）连接两槽有效边的节距；也是多匝线圈的节距。

② 第二节距 y_2　是转子集电环端连接两槽有效边的节距，又称前节距。

③ 过渡前距 y_3　它相当于双层波绕组的过渡节距，是前（第二）节距中的缩短节距，$y_3 = y_2 - 1$，图中用虚线表示。

④ 过渡后距 y_4　绕组绕行一周后，为继续换位绕行而人为地将（第一）后节距缩短而过渡连接，故称过渡后距，$y_4 = y_1 - 1$，图中用虚线表示。

⑤ 换位槽　对称换位波绕组每相两支路的连接是通过槽内的特殊换位元件进行的，即将元件从上（下）层进入后，换接到下（上）层抽出，换位元件所在的槽称之换位槽，又可称"翻层槽"。图中用上下层着色连接件表示。

⑥ 出线槽　对称换位波绕组三相出线 K_1、L_1、M_1 位于转子前端上层；星点出线 K_2、L_2、M_2 位于后端下层，两种出线槽号相同。

(2) 绕组排列表

它是绕组排列和接线的依据。

(3) 嵌线方法

小型电机多匝线圈宜用交叠法嵌线；硬元件绕组则将下层边穿插入槽后整形，再把上层边插入，并按图、表对接。

本节共收入三相对称换位波绕组端面布接线图10例。

3.2.1　54槽4极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q = 69$　第一节距 $y_1 = 1—19$　过渡后距 $y_4 = 1—18$

极相组数 $u = 12$　第二节距 $y_2 = 1—19$　出线槽号 $K_1 = 1$　$L_1 = 25$　$M_1 = 49$

极相槽数 $q = 6$　过渡前距 $y_3 = 1—18$　换位槽号 $K_0 = 50$　$L_0 = 2$　$M_0 = 26$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1—— 1—19—37—55—72—18—36—54—71—17—35—53—

70—16—34—52—69—15—33—51—68—14—32—

(50)—32—14—68—51—33—15—69—52—34—16—70—

53—35—17—71—54—36—18—72—15—37—19— 1—K_2

L_1——25—43—61— 7—24—42—60— 6—23—41—59— 5—

22—40—58— 4—21—39—57— 3—20—38—56—

(2)—56—38—20— 3—57—39—21— 4—58—40—22—

5—59—41—23— 6—60—42—24— 7—61—43—25—L_2

M_1——49—67—13—31—48—66—12—30—47—65—11—29—

46—64—10—28—45—63— 9—27—44—62— 8—

(26)— 8—62—44—27— 9—63—45—28—10—64—46—

29—11—65—47—30—12—66—48—31—13—67—49—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
嵌入次序	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
下层槽号	25	㉖	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
嵌入次序	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
下层槽号	49	㊿	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72

嵌入次序	73	74	75	76	77	78	79	80	81	137	138	139	140	141	
上层槽号	1	72	71	70	69	68	67	66	65	7	6	5	4	3	

注：带圈槽号嵌入换位元件（后同）。

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，且 $2p/3 \neq$ 整数，故三相能同时获得电气和机械对称平衡；每相在转子两端均有 5 只短距线圈。主要应用实例有 JRQ158-4 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-11 所示。

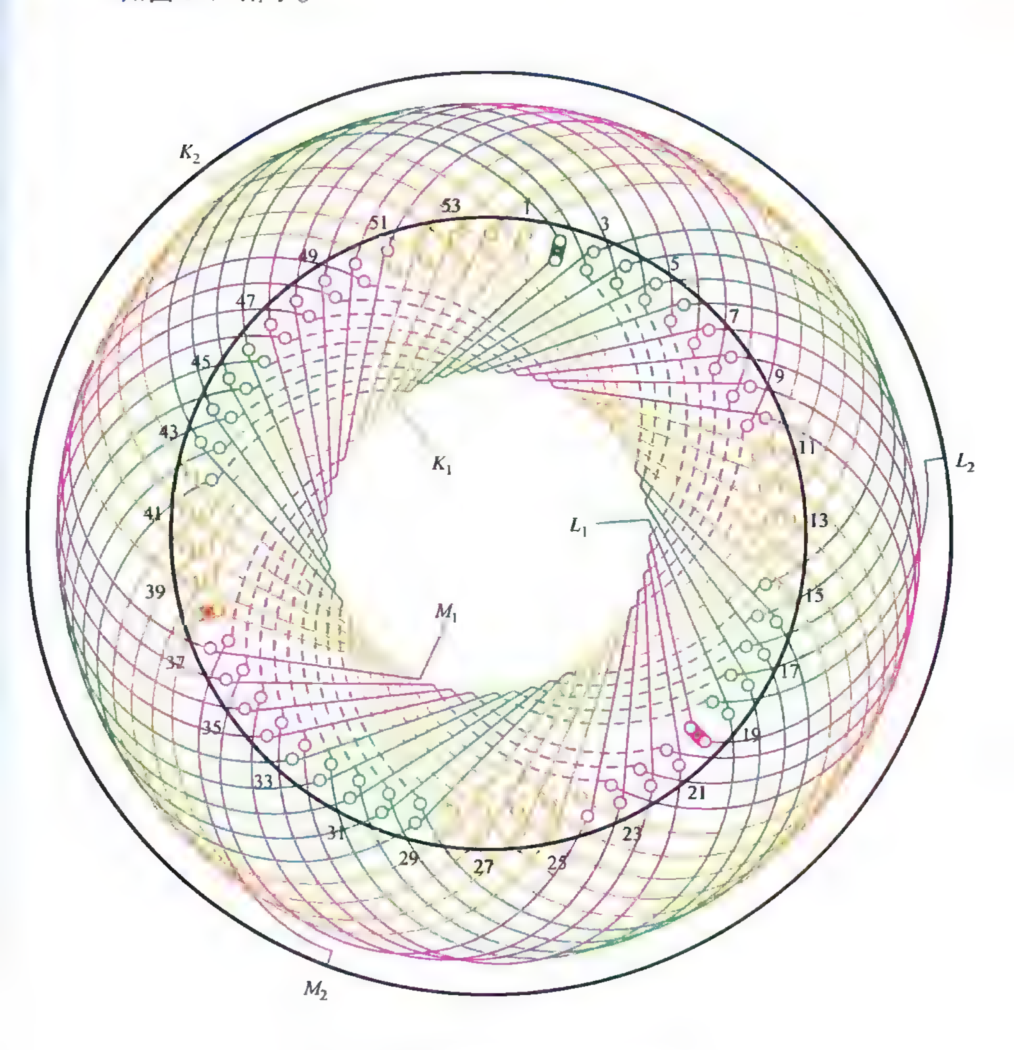


图 3-11　54 槽 4 极对称换位波绕组

3.2.2 54槽6极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=51$　　极相组数 $u=18$

极相槽数 $q=3$　　第一节距 $y_1=1—10$

第二节距 $y_2=1—10$　　过渡前距 $y_3=1—9$

过渡后距 $y_4=1—9$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=13$　$M_1=43$

换位槽号 $K_0=44$　$L_0=2$　$M_0=32$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—10—19—28—37—46—54—9—18—27—36—45—
53—8—17—26—35—(44)—35—26—17—8—53—
45—36—27—18—9—54—46—37—28—19—10—1—K_2

L_1——13—22—31—40—49—4—12—21—30—39—48—3—
11—20—29—38—47—(2)—47—38—29—20—11—
3—48—39—30—21—12—4—49—40—31—22—13—L_2

M_1——43—52—7—16—25—34—42—51—6—15—24—33—
41—50—5—14—23—(32)—23—14—5—50—41—
33—24—15—6—51—42—34—25—16—7—52—43—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
下层槽号	1	②	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
嵌入次序	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
下层槽号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	㉜	33	34	35	36
嵌入次序	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
下层槽号	37	38	39	40	41	42	43	㊹	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
嵌入次序	55	56	57	58	59	60	61	62	63	……		99	100	101	102	103	104	105
上层槽号	1	54	53	52	51	50	49	48	47	……		9	8	7	6	[illegible]	4	3

(4) 绕组特点与应用举例

本例是整数槽绕组，且 $2p/3=$ 整数，三相出线无法满足几何对称分布，故机械对称平衡较差，只能待试验时借助配重块进行调整。每相前后节距中分别有2只短距元件。主要应用实例有JR117-6三相绕线转子电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-12 所示。

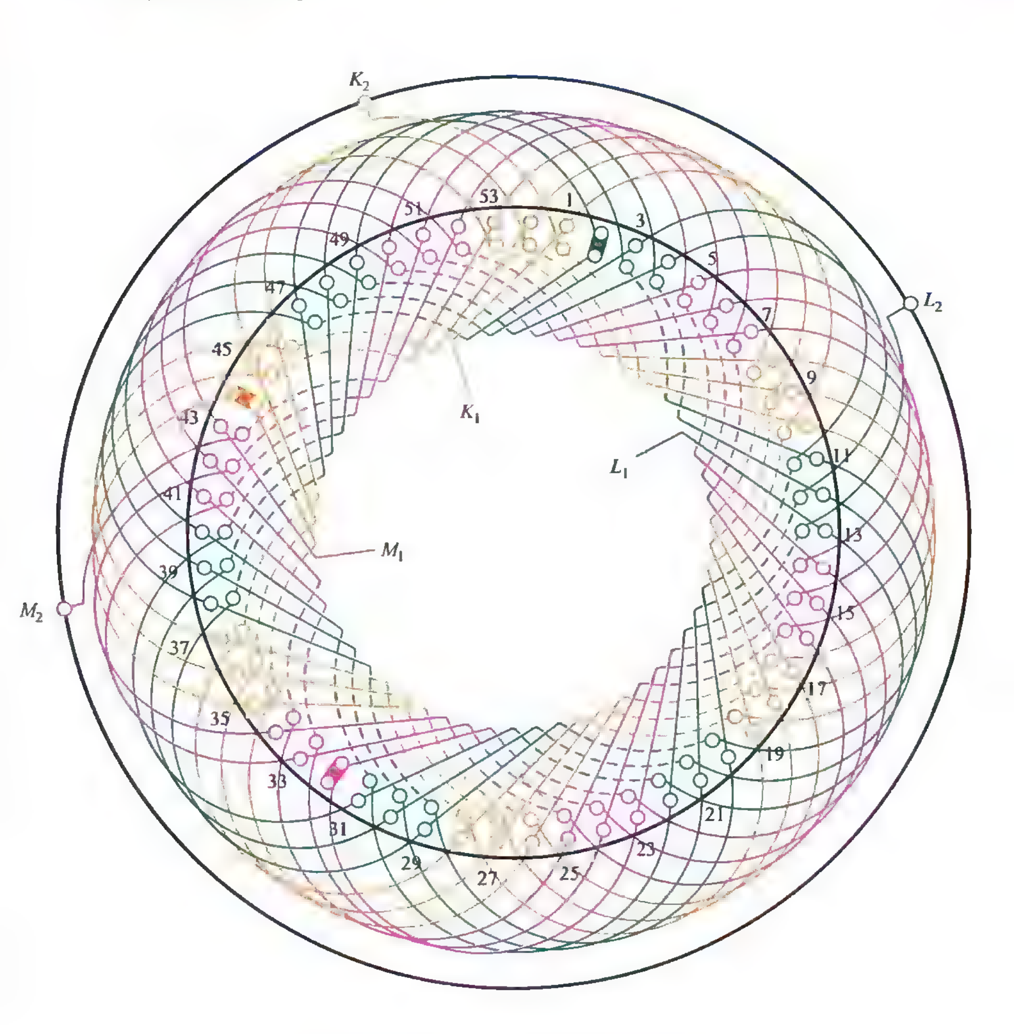


图 3-12　54 槽 6 极对称换位波绕组

3.2.3 72 槽 4 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=69$　　极相组数 $u=12$

极相槽数 $q=6$　　第一节距 $y_1=1—19$

第二节距 $y_2=1—19$　　过渡前距 $y_3=1—18$

过渡后距 $y_4=1—18$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=25$　$M_1=49$

换位槽号 $K_0=50$　$L_0=2$　$M_0=26$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1—— 1—19—37—55—72—18—36—54—71—17—35—53—

70—16—34—52—69—15—33—51—68—14—32—

(50)—32—14—68—51—33—15—69—52—34—16—70—

53—35—17—71—54—36—18—72—15—37—19—1—K_2

L_1——25—43—61—7—24—42—60—6—23—41—59—5—

22—40—58—4—21—39—57—3—20—38—56—

(2)—56—38—20—3—57—39—21—4—58—40—22—

5—59—41—23—6—60—42—24—7—61—43—25—L_2

M_1——49—67—13—31—48—66—12—30—47—65—11—29—

46—64—10—28—45—63—9—27—44—62—8—

(26)—8—62—44—27—9—63—45—28—10—64—46—

29—11—65—47—30—12—66—48—31—13—67—49—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
下层槽号	1	②	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
嵌入次序	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
下层槽号	19	20	21	22	23	24	25	㉖	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
嵌入次序	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	……	
下层槽号	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	㊿	51	52	……	

(4) 绕组特点及应用举例

本例为整数槽绕组，且 $2p/3\neq$ 整数，故三相能同时获得电气和机械对称平衡；每相在转子两端均有 5 只短距线圈。主要应用实例有 JRQ158-4 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-13 所示。

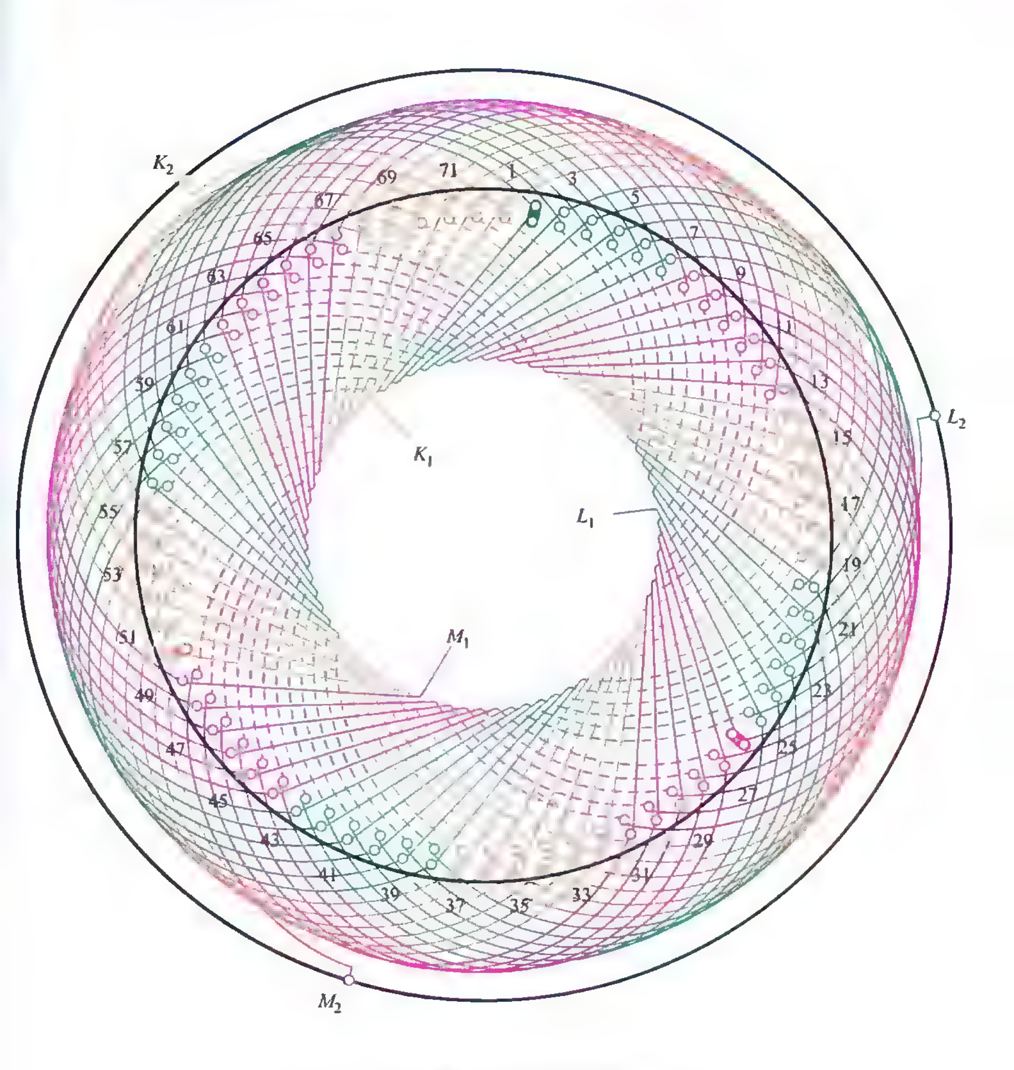


图 3-13　72 槽 4 极对称换位波绕组

3.2.4 72 槽 6 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=69$　　　　极相组数 $u=18$

极相槽数 $q=4$　　　　第一节距 $y_1=1—13$

第二节距 $y_2=1—13$　　　过渡前距 $y_3=1—12$

过渡后距 $y_4=1—12$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=17$　$M_1=57$

换位槽号 $K_0=58$　$L_0=2$　$M_0=42$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1—— 1 —13—25—37—49—61—72—12—24—36—48—60—

71—11—23—35—47—49—70—10—22—34—46—

(58)—46—34—22—10—70—59—47—35—23—11—71

—60—48—36—24—12—72—61—49—37—25—13— 1 —K_2

L_1——17—29—41—53—65— 5 —16—28—40—52—64— 4 —

15—27—39—51—63— 3 —14—26—38—50—62—

(2)—62—50—38—26—14— 3 —63—51—39—27—15—

4 —64—52—40—28—16— 5 —65—53—41—29—17—L_2

M_1——57—69— 9 —21—33—45—56—68— 8 —20—32—44—

55—67— 7 —19—31—43—54—66— 6 —18—30—

(42)—30—18— 6 —66—54—43—31—19— 7 —67—55—

44—32—20— 8 —68—56—45—33—21— 9 —69—57—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	……	24
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	……	24
嵌入次序	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	……	48
下层槽号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	㊷	43	……	48
嵌入次序	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	……	72
下层槽号	49	50	51	52	53	54	55	56	57	(58)	59	60	61	62	63	64	65	66	67	……	72

嵌入次序	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	……	110	111
上层槽号	1	72	71	70	69	68	67	66	65	64	……	4	3

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，且 $2p/3=$ 整数，三相出线无法满足几何对称要求，故不能达到机械平衡，要待试验时用配重方法调整其动平衡。每相前后节距中均有2只短距元件。主要应用实例有 JR116-6 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图3-14所示。

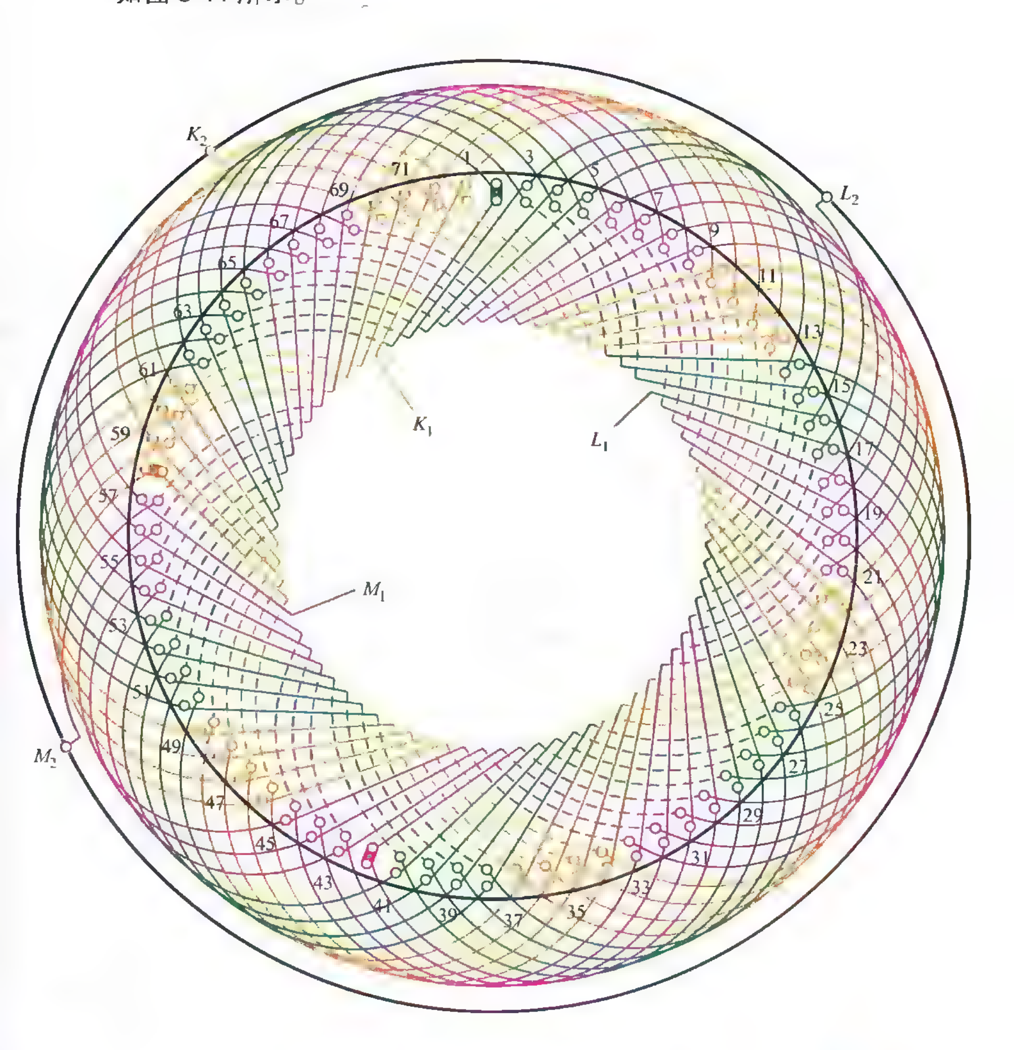


图3-14　72槽6极对称换位波绕组

3.2.5　75 槽 10 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数　$Q=72$　　　极相组数　$u=30$

极相槽数　$q=2\frac{1}{2}$　　　第一节距　$y_1=1—8$

第二节距　$y_2=1—9$　　　过渡前距　$y_3=1—8$

过渡后距　$y_4=1—7$

出线槽号　$K_1=1$　$L_1=26$　$M_1=51$

换位槽号　$K_0=67$　$L_0=17$　$M_0=42$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1—— 1—8—16—23—31—38—46—53—61—68—75—7—
15—22—30—37—45—52—60—(67)—59—52—44—
37—29—22—14—7—74—68—60—53—45—38—30—
23—15—8—75—69—61—54—46—39—31—24—16—
9—1 ———————————————— K_2

L_1——26—33—41—48—56—63—71—3—11—18—25—32—
40—47—55—62—70—2—10—(17)—9—2—69—
2—54—47—39—32—24—18—10—3—70—63—55—
48—40—33—25—19—11—4—71—64—56—49—11—
34—26 ———————————————— L_2

M_1——51—58—66—73—6—13—21—28—36—43—50—57—
65—72—5—12—20—27—35—(42)—34—27—19—
12—4—72—64—57—49—43—35—28—20—13—5—
73—65—58—50—44—36—29—21—14—6—74—66—
59—51 ———————————————— M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	⑰	18	19
嵌入次序	20	21	22	……	10	41	42	43	44	45	46	47	48	19	50	51	52	53	54
下层槽号	20	21	22	……	40	41	㊷	43	44	45	46	47	48	19	50	51	52	53	54
嵌入次序	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	……
下层槽号	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	(67)	68	69	70	71	72	……

(4) 绕组特点与应用举例

本例是分数槽绕组，极相槽数 $q=2\frac{1}{2}$，且极距 $\tau=7\frac{1}{2}$ 的分数，故前后节距要采用不等距轮换才能完成绕行；每相中，前节距用一只短距，后节距则有 2 只短距过渡元件。三相出线分布可以达到电气和机械对称平衡。主要应用于 JR115-10 等电动机转子。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-15 所示。

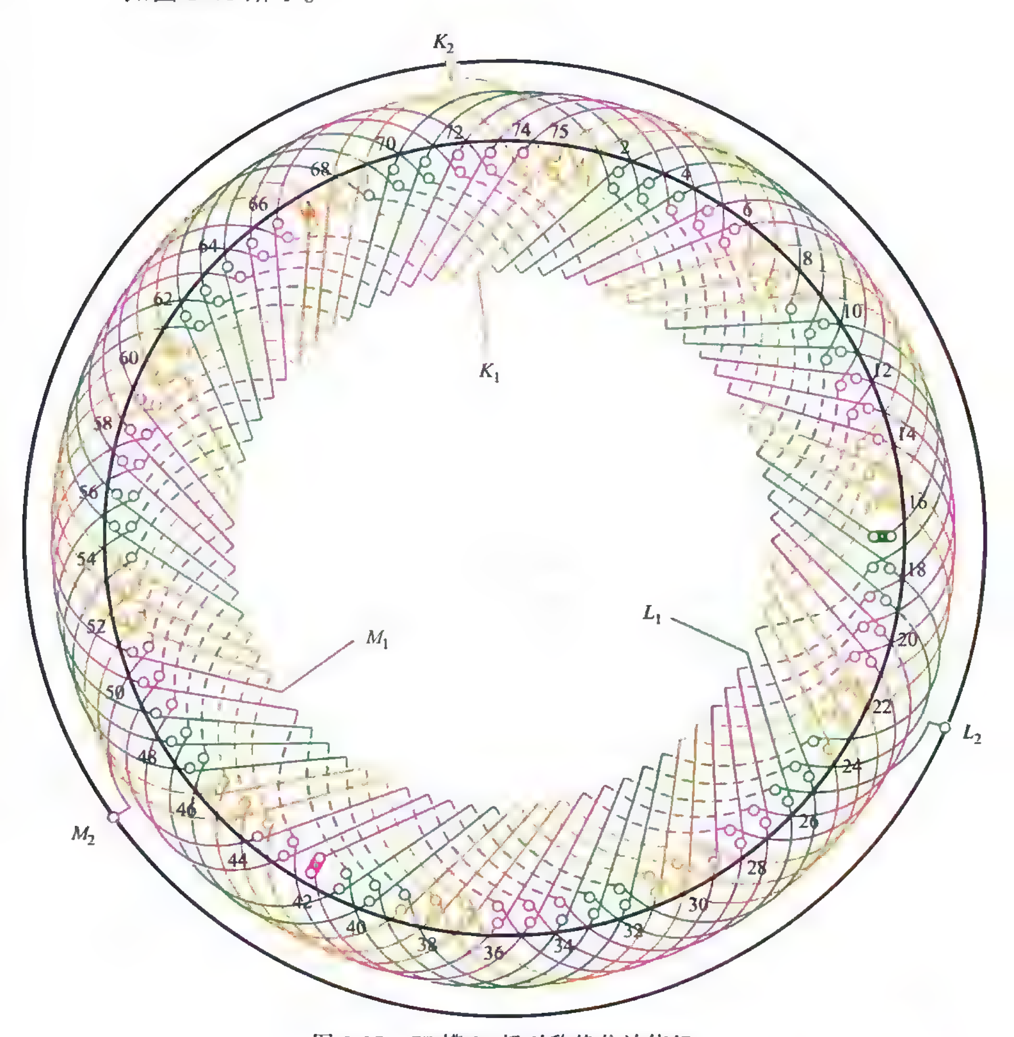


图 3-15　75 槽 10 极对称换位波绕组

3.2.6　81 槽 6 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=78$　第一节距 $y_1=1—14$　过渡后距 $y_4=1—13$

极相组数 $u=18$　第二节距 $y_2=1—15$　出线槽号 $K_1=1$ $L_1=19$ $M_1=37$

极相槽数 $q=4\frac{1}{2}$　过渡前距 $y_3=1—14$　换位槽号 $K_0=65$ $L_0=2$ $M_0=20$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—14—28—41—55—68—81—13—27—40—54—67—

80—12—26—39—53—66—79—11—25—38—52—

(65)—51—38—24—11—78—66—52—39—25—12—79—

67—53—40—26—13—80—68—54—41—27—14—81—

69—55—42—28—15—1————————————K_2

L_1——19—32—46—59—73—5—18—31—45—58—72—4—

17—30—44—57—71—3—16—29—43—56—70—

(2)—69—56—42—29—15—3—70—57—43—30—16—

4—71—58—44—31—17—5—72—59—45—32—18—

6—73—60—46—33—19————————————L_2

M_1——37—50—64—77—10—23—36—49—63—76—9—22—

35—48—62—75—8—21—34—47—61—47—7—

(20)—6—74—60—47—33—21—7—75—61—48—34—

22—8—76—62—49—35—23—9—77—63—50—36—

24—10—78—64—51—37————————————M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	⑳	21
嵌入次序	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
下层槽号	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
嵌入次序	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
下层槽号	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
嵌入次序	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81			
下层槽号	64	⑮	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81			

嵌入次序	82	83	84	85	86	87	88	……	155	156	157	158	159
上层槽号	1	81	80	79	78	77	76	……	7	6	5	4	3

(4) 绕组特点与应用举例

本例为分数槽绕组，每相前节距有3只，后节距有4只短距过渡元件。前后节距采用不等距轮换布线，三相出线无法对称安排，故绕组不能满足机械平衡要求。主要应用实例有JRQ148-6等防护式三相绕线转子电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图3-16所示。

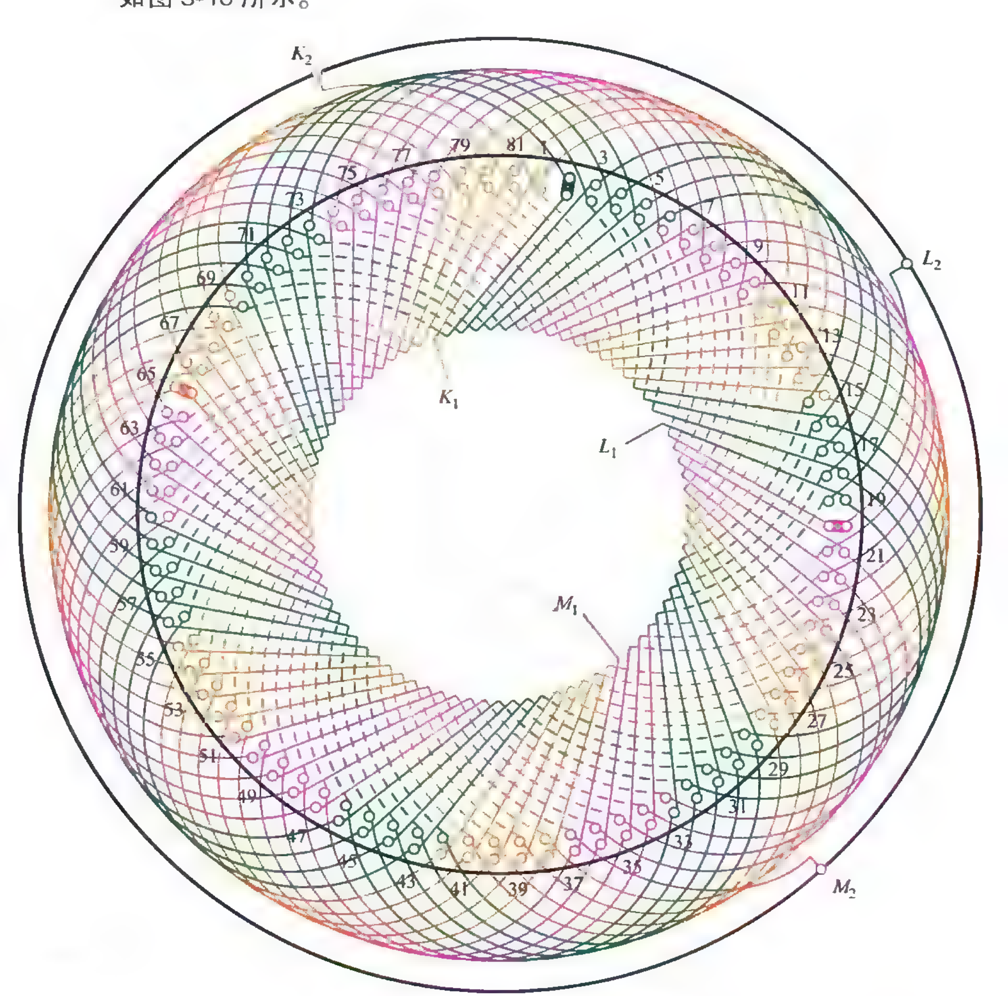


图3-16 81槽6极对称换位波绕组

3.2.7 84槽8极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=81$　　极相组数 $u=24$

极相槽数 $q=3\frac{1}{2}$　　第一节距 $y_1=1—11$

第二节距 $y_2=1—12$　　过渡前距 $y_3=1—11$

过渡后距 $y_4=1—10$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=29$　$M_1=57$

换位槽号 $K_0=72$　$L_0=16$　$M_0=44$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—11—22—32—43—53—64—74—84—10—21—31—
42—52—63—73—83—9—20—30—41—51—62—
(72)—61—51—40—30—19—9—82—73—62—52—41—
31—20—10—83—74—63—53—42—32—21—11—84—
75—64—54—43—33—22—12—1————————K_2

L_1——29—39—50—60—71—81—8—18—28—38—49—59—
70—80—7—17—27—37—48—58—69—79—6—
(16)—5—79—68—58—47—37—26—17—6—80—69—
59—48—38—27—18—7—81—70—60—49—39—28—
19—8—82—71—61—50—40—29————————L_2

M_1——57—67—78—4—15—25—36—46—56—66—77—3—
14—24—35—45—55—65—76—2—13—23—34—
(44)—33—23—12—2—75—65—54—45—34—24—13—
3—76—66—55—46—35—25—14—4—77—67—56—
47—36—26—15—5—78—68—57————————M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	⑯	17	18	19	20	21
嵌入次序	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
下层槽号	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
嵌入次序	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
下层槽号	43	㊹	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
嵌入次序	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
下层槽号	64	65	66	67	68	69	70	71	(72)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84

嵌入次序	85	86	87	88	89	90	91	92	…	161	162	163	164	165
上层槽号	1	84	83	82	81	80	79	78	…	6	5	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为分数槽绕组，前后节距采用不等距轮换布线，每相前后节距中分别有 2 只和 3 只短距过渡元件；三相出线可对称分布，能满足电气和机械平衡要求。主要应用实例有 JR115-8 绕线转子。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-17 所示。

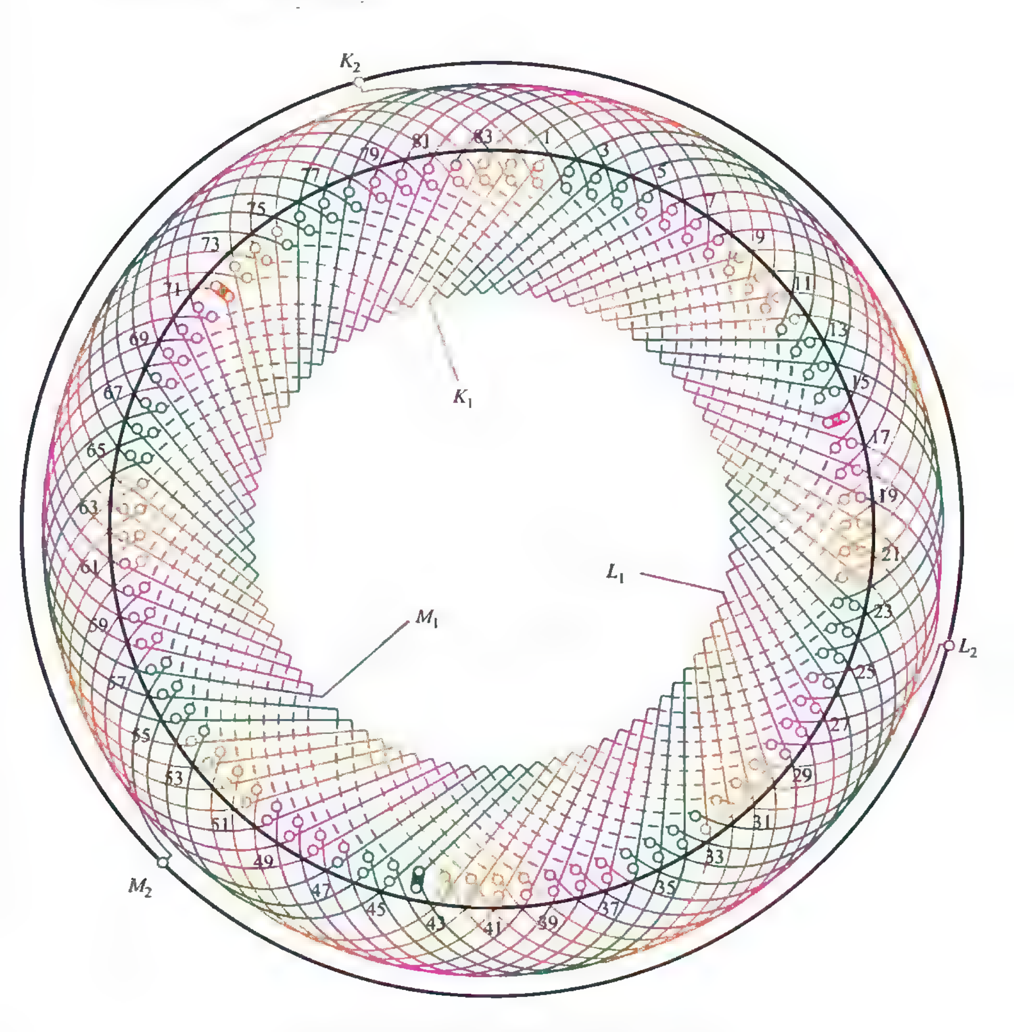


图 3-17 84 槽 8 极对称换位波绕组

3.2.8 90槽6极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=87$　　极相组数 $u=18$

极相槽数 $q=5$　　第一节距 $y_1=1—16$

第二节距 $y_2=1—16$　　过渡前距 $y_3=1—15$

过渡后距 $y_4=1—15$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=21$　$M_1=71$

换位槽号 $K_0=72$　$L_0=2$　$M_0=52$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—16—31—46—61—76—90—15—30—45—60—75—
89—14—29—44—59—74—88—13—28—43—58—73—
87—12—27—42—57—(72)—57—42—27—12—87—
73—58—43—28—13—88—74—59—44—29—14—89—
75—60—45—30—15—90—76—61—46—31—16—1—K_2

L_1——21—36—51—66—81—6—20—35—50—65—80—5—
19—34—49—64—79—4—18—33—48—63—78—3—
17—32—47—62—77—(2)—77—62—47—32—17—
3—78—63—48—33—18—4—79—64—49—34—19—
5—80—65—50—35—20—6—81—66—51—36—21—L_2

M_1——71—86—11—26—41—56—70—85—10—25—40—55—
69—84—9—24—39—54—68—83—8—23—38—53—
67—82—7—22—37—(52)—37—22—7—82—67—
53—38—23—8—83—68—54—39—24—9—84—69—
55—40—25—10—85—70—56—41—26—11—86—71—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
下层槽号	1	②	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
嵌入次序	19	20	21	22	23	……		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
下层槽号	19	20	21	22	23	……		49	50	51	(52)	53	54	55	56	57	58	59
嵌入次序	60	61	62	63	64	……		71	72	73	74	75	76	77	78	79	……	
下层槽号	60	61	62	63	64	……		71	(72)	73	74	75	76	77	78	79	……	
嵌入次序	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	……		175	176	177			
上层槽号	1	90	89	88	87	86	85	84	83	82	……		5	4	3			

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，前后正常节距相等，但 $2p/3=$ 整数，故三相出线仍无法完全对称安排，不能达到电气和机械同时平衡，需在试验时用配重调整动平衡。此外，每相前后节距有 4 只短距元件作过渡连接。主要应用实例有 JR136-6 等电机转子。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-18 所示。

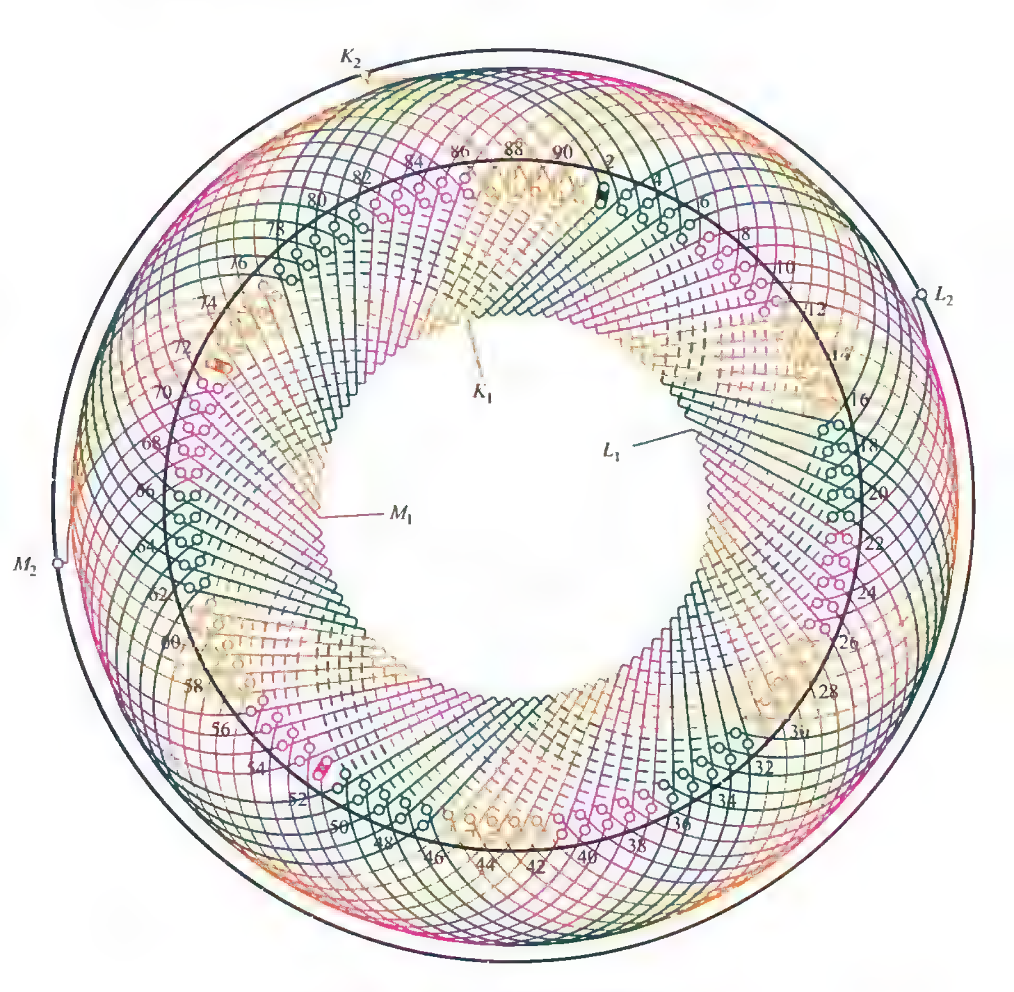


图 3-18　90 槽 6 极对称换位波绕组

3.2.9 96 槽 8 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=93$　　极相组数 $u=24$

极相槽数 $q=4$　　第一节距 $y_1=1—13$

第二节距 $y_2=1—13$　　过渡前距 $y_3=1—12$

过渡后距 $y_4=1—12$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=33$　$M_1=65$

换位槽号 $K_0=82$　$L_0=18$　$M_0=50$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1—— 1—13—25—37—49—61—73—85—96—12—24—36—
48—60—72—84—95—11—23—35—47—59—71—83—
94—10—22—34—46—58—70—(82)—70—58—46—
34—22—10—94—83—71—59—47—35—23—11—95—
84—72—60—48—36—24—12—96—85—73—61—49—
37—25—13—1 ———————————— K_2

L_1——33—45—57—69—81—93—9—21—32—44—56—68—
80—92—8—20—31—43—55—67—79—91—7—19—
30—42—54—66—78—90—6—(18)—6—90—78—
66—54—42—30—19—7—91—79—67—55—43—31—
20—8—92—80—68—56—44—32—21—9—93—81—
69—57—45—33 ———————————— L_2

M_1——65—77—89—5—17—29—41—53—64—76—88—4—
16—28—40—52—63—75—87—3—15—27—39—51—
62—74—86—2—14—26—38—(50)—38—26—14—
2—86—74—62—51—39—27—15—3—87—75—63—
52—40—28—16—4—88—76—64—53—41—29—17—
5—89—77—65 ———————————— M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	……
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	(18)	……
嵌入次序	48	49	50	51	……		75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	……
下层槽号	48	49	(50)	51	……		75	76	77	78	79	80	81	(82)	83	84	85	86	……
嵌入次序	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	……		185	186	187	188	189	
上层槽号	1	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	……		6	5	4	3	2	

(4) 绕组特点与应用举例

本例整数槽分布方案，且 $2p/3 \neq$ 整数，故三相出线能对称安排，电机转子能同时获得电气和机械对称平衡；前后节距相等，但分别有 3 只短距过渡元件分布于前后节距中。主要应用实例有 JR136-8 绕线式转子。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-19 所示。

图 3-19　96 槽 8 极对称换位波绕组

3.2.10 108 槽 12 极对称换位波绕组

(1) 绕组结构参数

总线圈数 $Q=51$　　极相组数 $u=36$

极相槽数 $q=3$　　第一节距 $y_1=1—10$

第二节距 $y_2=1—10$　　过渡前距 $y_3=1—9$

过渡后距 $y_4=1—9$

出线槽号 $K_1=1$　$L_1=31$　$M_1=79$

换位槽号 $K_0=98$　$L_0=20$　$M_0=68$

(2) 绕组排列表

上　下　上　下　上　下　上　下　上　下　上　下

K_1——1—10—19—28—37—46—55—64—73—82—91—100—
108—9—18—27—36—45—54—63—72—81—90—99—
107—8—17—26—35—44—53—62—71—80—89—
(98)—89—80—71—62—53—44—35—26—17—8—107—
99—90—81—72—63—54—45—36—27—18—9—108—
100—91—82—73—64—55—46—37—28—19—10—1—K_2

L_1——31—40—49—58—67—76—85—94—103—4—13—22—
30—39—48—57—66—75—84—93—102—3—12—21—
29—38—47—56—65—74—83—92—101—2—11—
(20)—11—2—101—92—83—74—65—56—47—38—29—
21—12—3—102—93—84—75—66—57—48—39—30—
22—13—4—103—94—85—76—67—58—49—40—31—L_2

M_1——79—88—97—106—7—16—25—34—43—52—61—70—
78—87—96—105—6—15—24—33—42—51—60—69—
77—86—95—104—5—14—23—32—41—50—59—
(68)—59—50—41—32—23—14—5—104—95—86—77—
69—60—51—42—33—24—15—6—105—96—87—78—
70—61—52—43—34—25—16—7—106—97—88—79—M_2

(3) 嵌线顺序表

嵌入次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	18	19	20	21	22
下层槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	18	19	⑳	21	22
嵌入次序	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	……	62	63	64	65	66
下层槽号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	……	62	63	64	65	66
嵌入次序	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	……	84	85	86	87	88
下层槽号	67	(68)	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	……	84	85	86	87	88
嵌入次序	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	……	105	106	107	108	
下层槽号	89	90	91	92	93	94	95	96	97	(98)	99	100	101	……	105	106	107	108	

续表

嵌入次序	109	110	111	112	113	114	115	116	……	211	212	213
上层槽号	1	108	107	106	105	104	103	102	……	4	3	2

(4) 绕组特点与应用举例

本例为整数槽绕组，$2p/3=$ 整数，三相出线无法对称安排，前后节距相等并各用 2 只短距元件。应用实例有 JRQ158-12 等电动机。

(5) 绕组端面布接线

如图 3-20 所示。

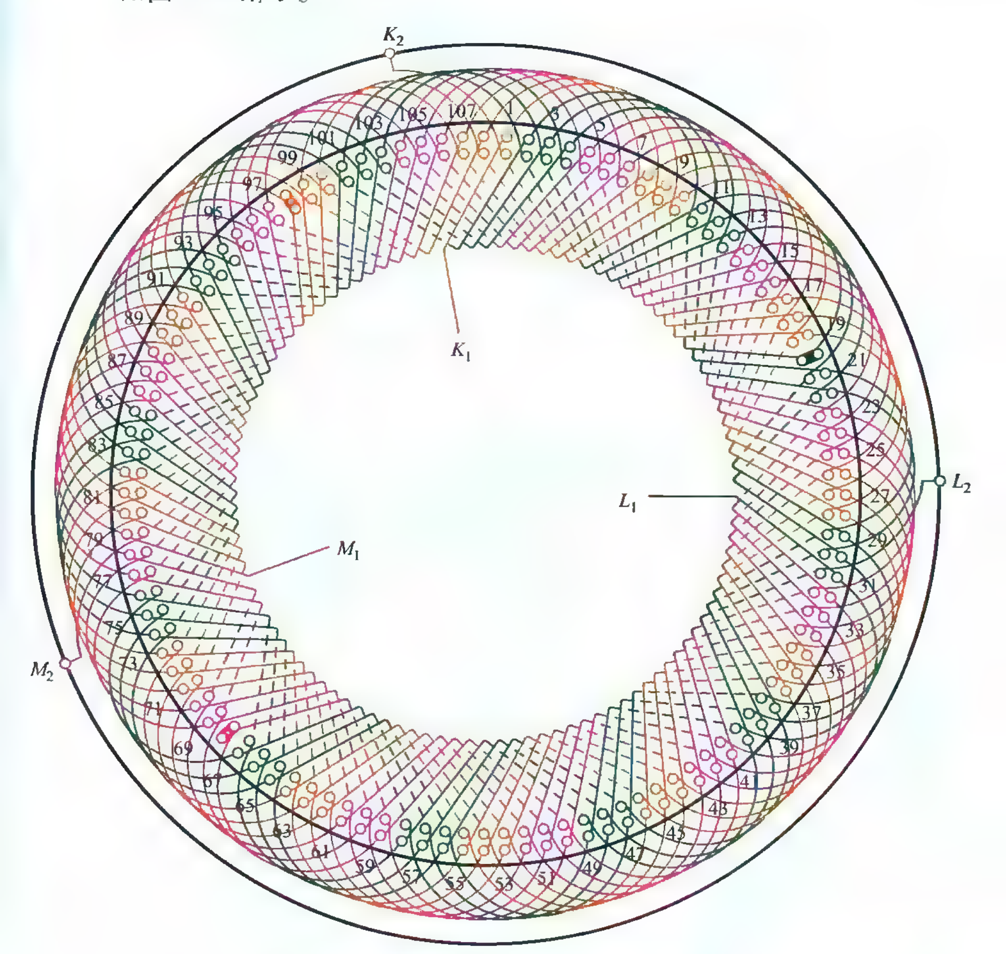


图 3-20　108 槽 12 极对称换位波绕组

第 4 章

单相（交直流）串励电动机转子绕法与电枢绕组

交流单相串励电动机属换向器式交直流两用电动机，其定子为励磁绕组，是凸极式结构；转子为电枢绕组，与直流电枢相同，但实用上只应用 2 极的单叠绕组。它的最大特点是转速快、效率高，与同等功率的其他单相电动机相比，其体积和重量最小；而且具有转矩高、过载能力强等优点，故是便携式电动工具及家用电器的主要动力源。

本章内容分三节，4.1 节是介绍电枢嵌绕的几种方法，而有的转子槽数只适用一种嵌法，有的则几种嵌法都适用。但无论选用何种嵌法，其线圈对换向器的接线关系都是相同的，对电机修理后的电气性能无直接关系，唯不同的是嵌法对转子的动平衡有较大影响。串励电枢绕组端面布接线（局部）图分两节，其间并无明显区别，仅从国产通用型产品和工具专用型产品加以区分，以便读者查阅。

由于串励电枢的接线可根据不同的设计而变化，因此，即使是相同规格的转子，如果定子结构（电刷位置）不同，也会使接线改变，甚至同一厂家不同时期的产品，也可能有不同的接线位置，但其线圈与换向器的接线关系则维持不变。本章图例是根据收集当时的产品资料绘制而成。所以，重绕时务必在拆线中记下借偏（偏移正对的接法）接入换向器的具体位置，即 1 号槽各线圈与线头接入换向片的确切位置，才能确保重绕成功；否则便会引起火花而不能正常工作。如因拆线疏忽或原始记录丢失，重绕就难以进行，这时可试用机工版的《中小型电动机修理》中的图 4-44 介绍的方法，粗略确定线头接入换向片的位置进行重绕，试车时再调整电刷架的位置，使火花减至最小。但必须指出，调整火花必须在确保绕组没有故障（如接地、短路、焊接不良等）的前提下进行，否则无效。

4.1 串励电枢（转子）嵌绕方法次序示意图

串励电枢绕组属小型层叠式转子结构，常用手工嵌绕。本节以嵌绕示意图介绍嵌绕次序，现就图例说明如下：

① 嵌绕顺序示意图是从转子换向器端模拟画出，中心圆圈代表转子轴；各槽均布于外圆内侧，槽号标示于外侧。

② 槽内小圆代表线圈（组）有效边，它由 n 个元件组成，通常用 n 根绝缘导线并绕；也可采用单根导线分圈绕制。

③ 槽内嵌入不同线圈（组）的两个有效边用两小圈表示，并用代表线圈端部的彩色线将两有效边连接，连线上标注编号为嵌绕次序。

④ 为使清晰易辨，嵌绕每一序次用不同颜色线条轮换标示；但平行对绕则每对次平行线用同色绘出。

⑤ 串励电枢属小型转子，线圈嵌线常用手绕。嵌线方法有叠绕法、V 形对绕法、平行对绕法以及十字平行对绕法等。其绕法的适用性与槽数有关，但叠绕法和 V 形对绕法则可适用于任何槽数，但叠绕法操作最简便，但动平衡效果较差，故只用于微小的转子。而各绕法的特点则分别于各图例中说明。

⑥ 电枢转子缠绕操作要点：手绕操作时，用左手握持转子铁芯，并使换向器端靠身斜朝下，把 n 根并绕导线线头缠绕在换向器端轴上固定好。再用右手捏着 n 根导线从 1 号槽向前绕入，再跨节距回绕进跨距槽。如此逐匝将导线嵌入两槽，直至绕满规定匝数，则一只线圈完成。然后，第 2 只线圈的起绕则要根据选用的绕法决定起始槽。

本节共收入电枢规格 12 例，具体嵌绕方法和次序示意图 22 幅。

4.1.1　3槽2极（$y=1$）电枢转子绕法

(1) 嵌绕方法与次序

① 叠绕法　转子铁芯仅有3槽，叠绕法嵌绕也只有3个次序。嵌绕顺序见表4-1 (a)。

表4-1 (a)　叠绕法

嵌绕次序	1	2	3
线圈槽号	1　2	2　3	3　1

② V形对绕法　因是3槽转子，对绕法的嵌绕也是3个次序。嵌绕顺序见表4-1 (b)。

表4-1 (b)　V形对绕法

嵌绕次序	1	2	3
线圈槽号	1　2	2　3	3　1

(2) 工艺特点及应用举例

此转子为奇数槽，而且仅有3槽，属于串励电动机中结构最简单的型式。由两种嵌绕方法的嵌绕次序表可见，它们的嵌绕次序完全相同；而且由图4-1可见，其端部的绕圈互不交叠，无论从哪一槽视向，绕组都呈V形分布。所以，该转子绕法具有结构简单，嵌绕容易，对称平衡性较好等优点；不过此规格无法制成较大容量，只宜作小型轻便工具使用的电动机和儿童玩具电动机。

(3) 电枢转子绕法示意图

如图4-1所示。

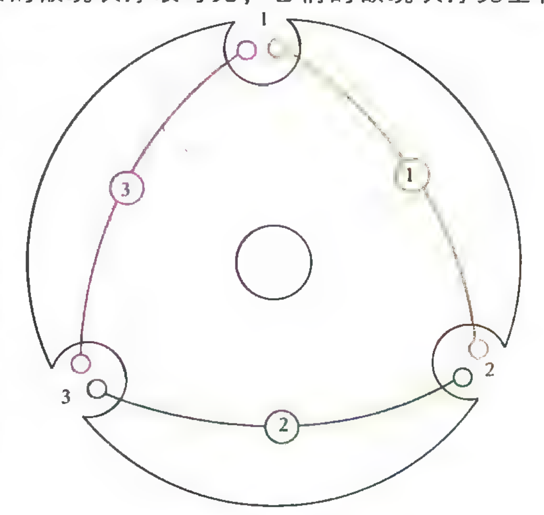


图4-1　3槽2极（$y=1$）电枢转子叠绕、V形对绕示意图

4.1.2 7 槽 2 极（$y=3$）电枢转子绕法

4.1.2.1 叠绕法

(1) 叠绕方法与次序

本例转子为奇数槽，槽节距 $y=(7-1)/2=3$。此绕组共有 7 只线圈，故分 7 次嵌绕完成。叠绕时第 1 只线圈（手绕线圈）的首匝从第 1 槽开始绕入，并跨节距（本例 $y=3$ 槽）绕入第 4 槽，绕满规定匝数即完成第 1 次序的（1—4）；随后从第 2 槽开始嵌绕第 2 只线圈，并跨至第 5 槽，绕满后完成第 2 次序的（2—5）；第 3 只线圈也顺槽序从第 3 槽绕入。如此类推，嵌至最后第 7 只线圈（7—3），绕满后则嵌绕工序完成。具体嵌绕顺序可见表 4-2（a）。

表 4-2（a） 叠绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7
线圈槽号	1 4	2 5	3 6	4 7	5 1	6 2	7 3

(2) 工艺特点及应用举例

叠绕法可适用于任何槽数的转子，每只线圈只要顺着槽号绕入即可；操作工艺简单，绕入顺序易记。但先嵌绕的线圈比后嵌者导线总长相差很多，使线圈内阻不等而影响电气性能；同时，各线圈端部长度不等也致使整机动平衡较差，故重绕后要进行配重调整。

7 槽电枢转子也属容量小的规格，实用不多，主要还是用在功率微小的高级玩具之类作为动力。

(3) 电枢转子叠绕法示意图

如图 4-2（a）所示。

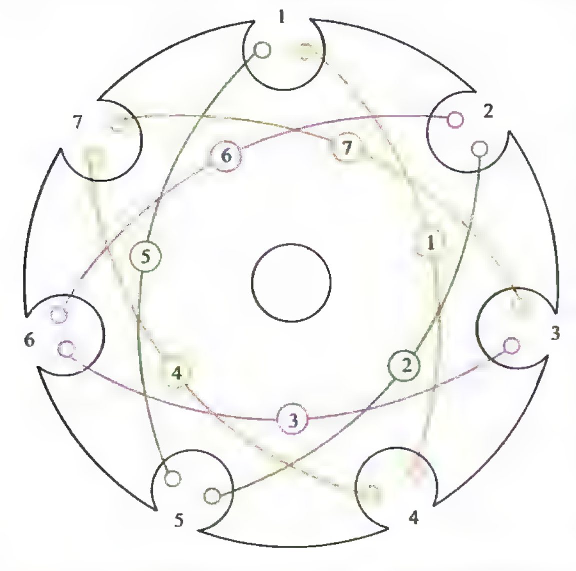


图 4-2（a） 7 槽 2 极（$y=3$）电枢转子叠绕示意图

4.1.2.2　V 形对绕法

(1) 对绕方法与次序

本例为奇数槽，对绕法中只能采用 V 形对绕。槽节距 $y=(7-1)/2=3$ 槽，对绕嵌线如表 4-2 (b) 所示。7 只线圈分 7 个序次嵌绕，第 1 只线圈从换向器端的 1 号槽嵌入，并距节距（本例为 3 槽）绕入跨距槽（第 4 槽），绕满匝数后，完成第 1 序次的（1—4）；第 2 只线圈则从上一序次的跨距槽开始绕入，也跨节距绕入第 7 槽（即本序次的跨距槽），绕满匝数后完成第 2 次序的（4—7）。这时，从转子换向器端视向嵌入的两只线圈端部便呈“V”形，故称 V 形对绕法。同理，第 3 只线圈也从上序次的跨距槽绕入，完成后（4—7）与（7—3）之端部也呈 V 形。如此类推，最后嵌至第 7 只线圈（5—1）又回到起始的第 1 槽，则嵌绕工序便告完成。具体嵌绕顺序见表 4-2 (b)。

表 4-2 (b)　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7
线圈槽号	1　4	4　7	7　3	3　6	6　2	2　5	5　1

(2) 工艺特点及应用举例

V 形对绕法也可适用于任何槽数的转子，第 1 只线圈缠绕与叠绕法相同，但下一只线圈是以上一线圈的跨距槽作为起始绕入槽，再跨节距绕到本轮跨距槽；再下一线圈也循此嵌绕，直至完成。由于 V 形对绕法的每对相邻线圈的端部都呈 V 形分布于转轴两侧，故具有较好的平衡性，而且嵌绕的操作并不难掌握，故在 7 槽电枢转子中常被采用。

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-2 (b) 所示。

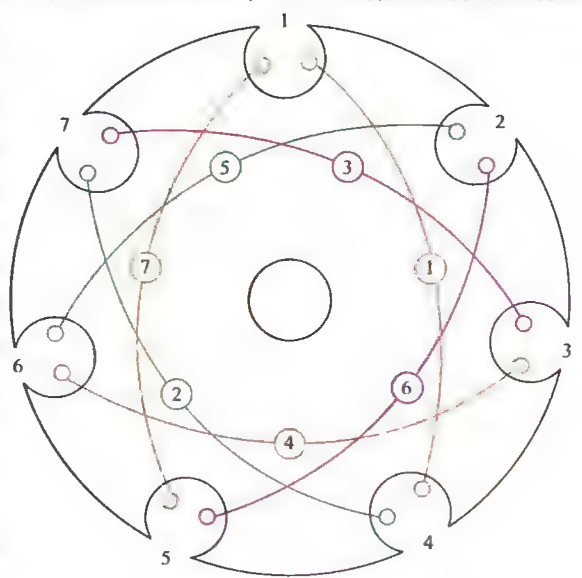


图 4-2 (b)　7 槽 2 极 ($y=3$) 电枢转子 V 形对绕示意图

4.1.3　8 槽 2 极（$y=3$）电枢转子绕法

4.1.3.1　叠绕法

(1) 叠绕方法与次序

本例是偶数槽，绕组全距 $y=8/2=4$，但本例取短节距为 3 槽，故叠绕时第 1 只线圈跨绕于 1—4 槽；第 2 只线圈顺槽编号从 2 号槽绕入再跨于第 5 槽，当绕满 2—5 槽匝数后，再顺槽编号绕入，如此类推，顺次进行，最后把第 8 只线圈嵌绕入槽 8—3，从而完成本例整个叠绕程序。叠绕法嵌绕顺序见表 4-3 (a)。

表 4-3 (a)　叠绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1—4	2—5	3—6	4—7	5—8	6—1	7—2	8—3

(2) 工艺特点及应用举例

叠绕法可适用于不同槽数的转子，而且操作工艺简单，第 1 只线圈跨 3 槽绕入后，以后线圈便可顺槽编号嵌绕，直至完成。但叠绕法的最大缺点是线圈端部长度不等，即先嵌绕的线圈匝长较短，后嵌入线圈匝长较长，故使整个转子端部重量不均匀，其整机动平衡较差，容易引起振动、噪声，故修理后要进行动平衡校正，调整好后才能完全运行。此种绕法可应用于 8 槽转子的电吹风等采用。

(3) 电枢转子叠绕法示意图

如图 4-3 (a) 所示。

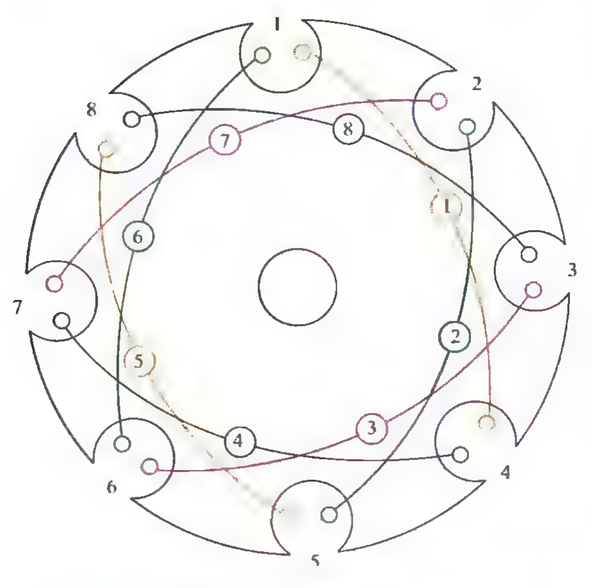


图 4-3 (a)　8 槽 2 极（$y=3$）电枢转子叠绕示意图

4.1.3.2　V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例转子是 8 槽，属偶数槽，而且槽数为 4 的倍数，故可有两种对绕的方法。本例为 V 形对绕，而槽节距 $y=3$，属短距绕组，对绕时 8 只线圈分 8 次绕嵌，第 1 只线圈从换向器端绕入 1 号槽，并跨 3 槽绕入第 4 槽（跨距槽），绕满匝数后，第 2 只线圈则从上次的跨距槽绕入，再跨 3 槽到第 7 槽，完成（4—7）的嵌绕；然后再嵌绕第 3 只线圈（7—2），循此规律嵌至最后第 8 只线圈，也从上次的跨距槽绕入，最后回到 1 号槽，嵌绕便告完成。V 形对绕法嵌绕顺序见表 4-3（b）。

表 4-3（b）　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1　4	4　7	7　2	2　5	5　8	8　3	3　6	6　1

(2) 工艺特点及应用举例

可以说，V 形对绕法适用于所有转子，第 1 只线圈按节距绕好后，下一线圈再以上一线圈的跨距槽作为起始绕入，循此嵌绕直至完成。这时，每一对相邻绕入的线圈都呈 V 形，且分布于转轴两侧，故其动平衡远好于叠绕法，而且嵌绕操作工艺的难度也与叠绕法相当，故也常被 8 槽电枢转子的 G 系列电动机所采用

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-3（b）所示。

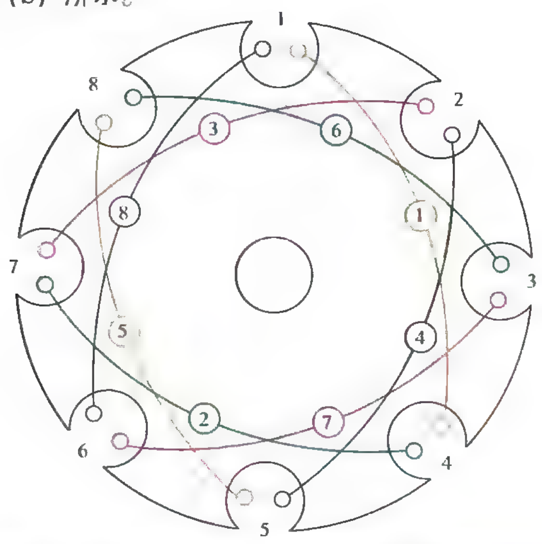


图 4-3（b）　8 槽 2 极（$y=3$）电枢转子 V 形对绕示意图

4.1.3.3 平行对绕法

(1) 平行对绕方法与次序

本例转子是偶数槽，除可用 V 形对绕之外，还可选用对称平衡效果更好的平行对绕法，嵌绕时把第 1 只线圈跨节距绕好后，第 2 只线圈对称平行安排在转轴另一侧，如图 4-3（c）绕次 1、2 的黄色线圈，这种使每对线圈都平行安排于转轴两侧的即谓“平行对绕法”。由图可见，第 2 对（绿色）线圈也是平行分布，而且，两对平行线圈的中心线呈垂直十字，故又将此称为“十字平行对绕法”。本例十字平行对绕法的嵌线顺序见表 4-3（c）。

表 4-3（c） 十字平行对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1 4	5 8	7 2	3 6	4 7	8 3	[illegible] 5	6 1

(2) 工艺特点及应用举例

此绕法必须使每对线圈分置转轴两侧，并呈平行对称位置；而且，相继嵌入的两对平行线圈的中心线也必须垂直呈十字。由于每对平行线圈的匝长相等；且十字对称能获得机械平衡，故无论电气性能和机械平衡都能获得较好的效果，是电枢转子最理想的缠绕方法。不过，其结构条件苛刻，除槽数是偶数之外，其槽数还必须被 4 除尽，故使它的应用受到极大限制。此外，十字平行的绕组端部会形成空隙凸起，其运行时的风耗较大，但散热效果则相应较好。十字平行对绕法适用于 8 槽转子的串励式电吹风及 G 系列串励电动机。

(3) 电枢转子十字平行对绕法示意图

如图 4-3（c）所示。

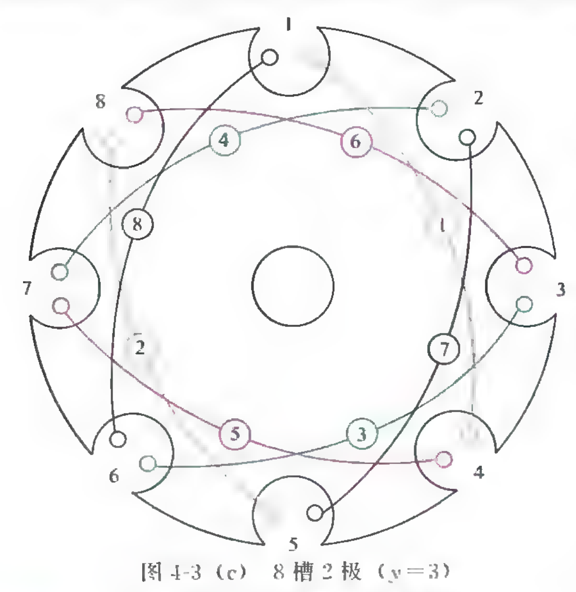


图 4-3（c） 8 槽 2 极（y=3）电枢转子十字平行对绕示意图

4.1.4 9槽2极（$y=4$）电枢转子绕法

4.1.4.1 叠绕法

(1) 叠绕方法与次序

转子是奇数槽，共有8只线圈，分8次嵌绕完成。绕组极距 $\tau=9/2=4.5$（槽），而槽节距 $y=(9-14)/2=4$（槽），故属短距绕组。叠绕时第1只线圈首匝从始槽1开始绕入，跨过节距再绕入第5槽，绕满规定匝数后完成线圈（1—5）；第2只线圈则顺编2号槽绕入，也跨节距绕到第6槽，完成线圈（2—6）。如此类推，将最后一只线圈（9—4）嵌完匝数后则嵌绕工序完成。具体嵌绕顺序见表4-4（a）。

表 4-4（a） 叠绕法

嵌线次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
线圈槽号	1—5	2—6	3—7	4—8	5—9	6—1	7—2	8—3	9—4

(2) 工艺特点及应用举例

所有槽数的电枢转子都可用叠绕法嵌线，而由于串励电动机转速高，运行时较大的转子会产生很大的离心力而容易引起振动而产生换向火花，所以，功率稍大的转子都不宜选用叠绕法。而本例为9槽，仍属功率很小的电机，再者，因叠绕法的操作工艺简单，嵌绕次序可在无图条件下顺槽号绕入，故在9槽转子的电枢中仍有应用。但其电气性能和机械平衡方面并不理想，重绕时还是建议选用V形对绕法为好。

(3) 电枢转子叠绕法示意图

如图4-4（a）所示。

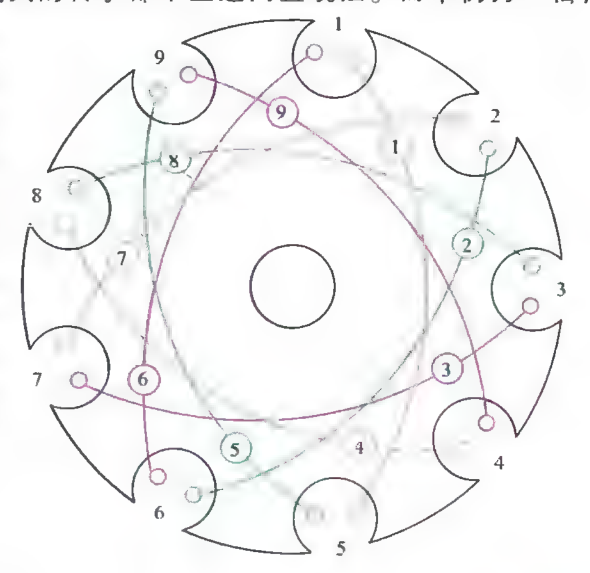


图 4-4（a） 9槽2极（$y=4$）电枢转子叠绕法

4.1.4.2 V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例 9 槽，是奇数槽转子，对绕法中只能用 V 形对绕。绕组槽节距 $y=(9-1)/2=4$（槽）。第 1 只线圈从换向器端的 1 号槽绕入，并跨节距 3 绕入跨距槽 5，绕满匝数后完成（1—5）线圈。第 2 只线圈则从上次的跨距槽 5 始绕嵌入，再跨节距绕入槽 9，绕满匝数后便完成（5—9）线圈。同理，第 3 只线圈也从上次的跨距槽 9 绕入，依此类推，最后把第 9 只线圈（6—1）绕满匝数，则 V 形对绕完成。嵌线顺序见表 4-4（b）。

表 4-4（b） V 形对绕法

嵌线次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
线圈槽号	1—5	5—9	9—1	4—8	8—3	3—7	7—2	2—6	6—1

(2) 工艺特点及应用举例

V 形对绕法适用于任何槽数的转子，它是尾随跨节距嵌绕法，即第 1 只线圈完成后，再尾随该跨距槽绕入下一只线圈，使每对连续的线圈端部呈 V 形分置于转轴两侧，故其机械平衡性优于叠绕法；而且，其绕序易记，嵌绕操作也不难掌握，故在 9 槽转子中的吸尘器电动机和其他小型家用器具常被应用。

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-4（b）所示。

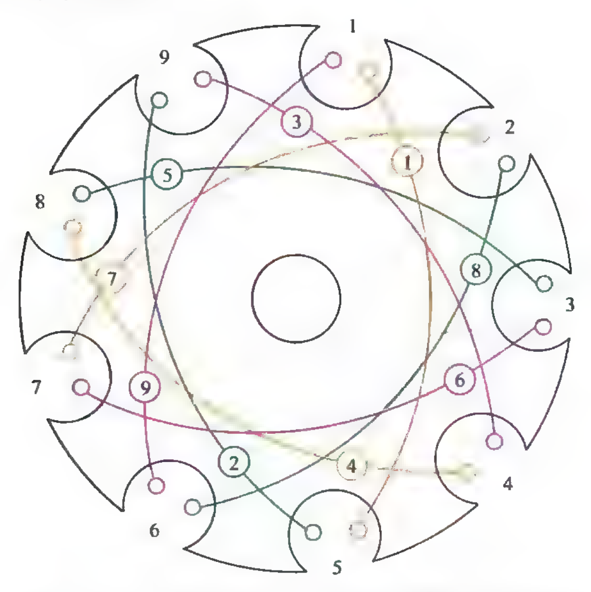


图 4-4（b） 9 槽 2 极（$y=4$）电枢转子 V 形对绕法

4.1.5 10槽2极（$y=4$）电枢转子绕法

4.1.5.1 叠绕法

(1) 叠绕方法与次序

本例是偶数槽，采用叠绕法时第1只线圈从始槽（1号）绕入首匝、然后跨过4槽（节距）绕入第5槽，如此反复绕嵌线圈全部匝数后，线圈（1—5）便告完成；之后另一线圈顺槽号（2号）绕入再跨节距，完成（2—6）后再绕嵌第3只线圈，如此操作嵌绕，直至最后一线圈（10—4）绕完，则本例叠绕程序完成。转子绕组共有10只线圈，分10次序绕完。嵌绕顺序见表4-5（a）。

表4-5（a） 叠绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
线圈槽号	1—5	2—6	3—7	4—8	5—9	6—10	7—1	8—2	9—3	10—4

(2) 工艺特点及应用举例

叠绕法虽然绕法简单易记，但线圈始终从转轴一侧绕嵌，而且先嵌的线圈匝长短，越往后嵌入的线圈端部压在前面线匝上面，故使后嵌线圈越往后的匝长越长，这样不但使线圈内阻相差较大，容易产生换向火花；同时转子绕组端部重量分布不平衡，也容易产生振动、噪声，甚至引起强烈火花。所以，叠绕法一般只用在小容量的电机转子。本例虽不属大容量，但重绕时还是建议改用对绕法绕线。

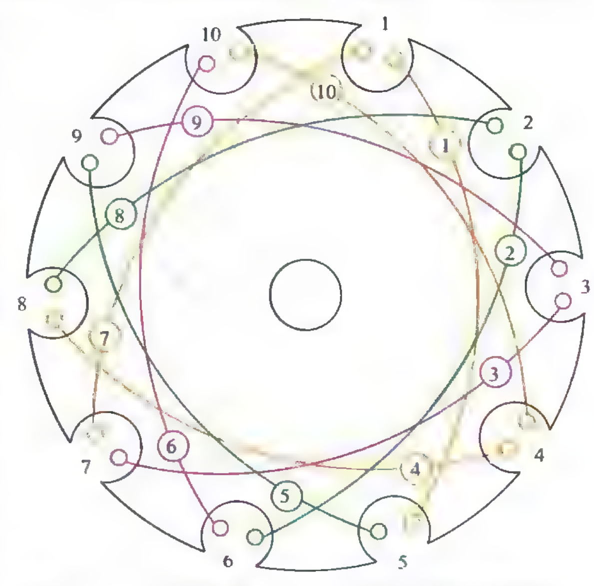


图4-5（a） 10槽2极（$y=4$）电枢转子叠绕示意图

(3) 电枢转子叠绕法示意图

如图4-5（a）所示。

4.1.5.2 V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例是偶数槽，V 形对绕法如前所述，其要点是尾随前一跨距槽起绕下一线圈，即第 1 只绕圈绕嵌于槽 1—5，第 2 只线圈便尾随槽 5（跨距槽）绕入，再跨进槽 9，从而完成线圈（5—9）；循此绕至一半时，即第 5 只线圈（7—1）又回到槽 1，形成闭路。余下的一半线圈则要从 2 号槽另行起绕，再构成另一个绕行闭路。从而形成双绕行闭路的 V 形对绕法。嵌线顺序见表 4-5（b）。

表 4-5（b） V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
线圈槽号	1—5	5—9	9—3	3—7	7—1	2—6	6—10	10—4	4—8	8—2

(2) 工艺特点及应用举例

本例属于双闭路 V 形对绕，是转子对绕法中的特殊形式。由表 4-5（b）可见，它的一个闭路是由奇数槽线圈构成；而偶数槽则构成另一闭路。为了看清两个闭路的绕行，在图 4-5（b）中特用黄色和绿色加以区分绘出。这种绕法的优点与 V 形对绕相同，即每对相邻绕入的线圈端部都呈 V 形分布于转轴两侧；而且两个绕行闭路结构相同，错位叠加后仍能保持较好的机械平衡性。但双绕行形式只有槽数满足 $Z/5=2$ 且 $y=4$ 的条件下才能构成。

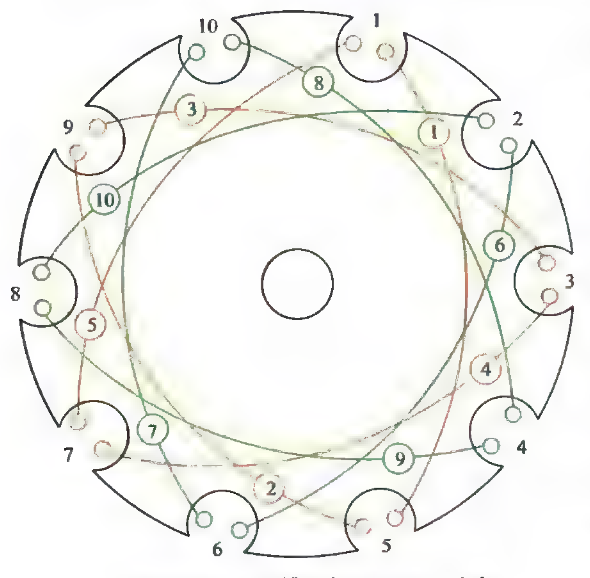


图 4-5（b） 10 槽 2 极（$y=4$）电枢转子（双闭路）V 形对绕示意图

(3) 电枢转子（双闭路）V 形对绕法示意图

如图 4-5（b）所示。

4.1.5.3　平行对绕法

(1) 平行对绕方法与次序

本例绕组是偶数槽，除可安排 V 形对绕外，还可选用平行对绕法，它是把每相继绕入的两只线圈安排在转轴两侧，并呈平行状态，如图 4-5（c）中黄实线的第 1 对线圈（1—5）//（6—10）；而第 2 对线圈从跨距槽（10 号槽）起绕，也使（10—4）//（5—9）。如此类推，使每对线圈的端部呈平行状态即构成平行对绕法。平行对绕法的嵌绕顺序见表 4-5（c）。

表 4-5（c）　平行对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5
线圈槽号	1—5	6—10	10—4	5—9	9—3
嵌绕次序	6	7	8	9	10
线圈槽号	1—8	8—2	3—7	7—1	2—6

(2) 工艺特点及应用举例

平行对绕法实施于偶数槽转子，并使每对线圈分置于转轴两侧，且要使其端部平行对称，故其每对平行线圈的匝长相等，使它在运行时能有较好的动平衡效果。平行对绕法的实施条件是偶数槽，对于 10 槽转子而言，其机械平行效果相当，但平行对绕的嵌绕工艺稍难于 V 形对绕。本例绕法适用于 VX-20 吸尘器及 U 系列的 U15/40-220、U15/56-220D 等单相串励电动机应用。



图 4-5（c）　10 槽 2 极（$y=4$）
电枢转子平行对绕示意图

(3) 电枢转子平行对绕法示意图

如图 4-5（c）所示。

4.1.6　11 槽 2 极（$y=5$）电枢转子绕法

4.1.6.1　叠绕法

(1) 叠绕方法与次序

本例转子槽数是奇数，槽节距 $y=(11-1)/2=5$（槽），故也属短距布线。叠绕的基本方法是按槽编号顺序逐槽起绕。如本绕组 1 号槽是第 1 只线圈的起绕槽，再跨槽节距绕入 6 号槽，绕满匝数后，第 2 只线圈从 2 号槽绕入；第 3 只线圈则从 3 号槽绕入。如此类推，顺槽号绕入。最后一只线圈从 11 号槽绕入，再跨至槽 1，从而完成线圈（7—1）的嵌绕。本例叠绕法的嵌绕顺序见表 4-6（a）。

表 4-6 (a)　叠绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
线圈槽号	1 6	2 7	3·8	4 9	5 10	6 11	7 1	8 2	9 3	10—1	11 5

(2) 工艺特点及应用举例

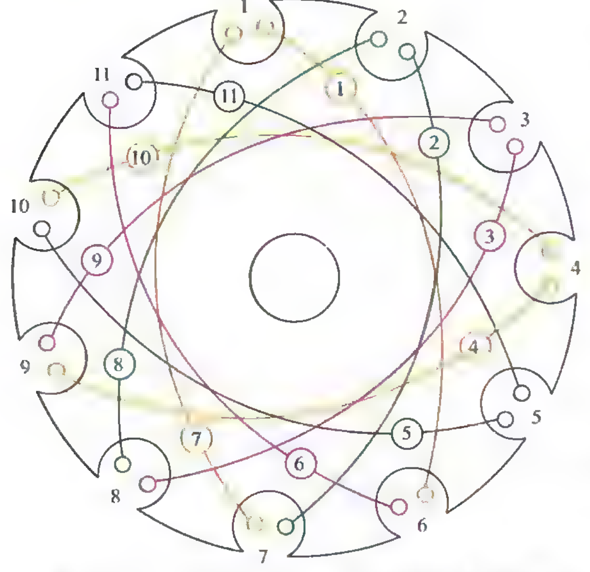


图 4-6 (a)　11 槽 2 极（$y=5$）电枢转子叠绕示意图

叠绕法操作工艺简单，嵌绕顺序易记，只要顺槽编号绕入即可，而且适用于任何槽数的转子；但先后嵌入的每只线圈都出现在转轴同一侧，而且先嵌入的线圈匝长较短，越往后嵌入的线圈匝长越长，且相差很多。而线匝长短会造成线圈阻抗差别，有可能导致电磁不均而产生换向火花；另外，还使转子端部重量偏向一侧，运行时产生离心力而致整机动平衡变差。所以，对直径稍大的转子就不宜选用叠绕法嵌线

(3) 电枢转子叠绕法示意图

如图 4-6（a）所示。

4.1.6.2　V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例是奇数槽，无法实施平行对绕法，槽节距 $y=(11-1)/2=5$，V 形对绕时从 1 号槽绕入后，跨 5 槽绕入第 6 槽（跨距槽），再从跨距槽 6 绕入再跨绕于 11 号槽，完成第 2 只线圈（6—11）；第 3 只线圈则从 11 号槽绕入，如此类推，到最后把第 11 只线圈（7—1）匝数绕完，则嵌绕结束。V 形对绕的嵌绕顺序见表 4-6（b）。

表 4-6（b）　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
线圈槽号	1　6	6　11	11　5	5　10	10　4	4　9	9　3	3-8	8—2	2　7	7　1

(2) 工艺特点及应用举例

V 形对绕法可适用于任何槽数的转子，而且先后嵌绕的两只线圈端部呈 V 形分布于转轴两侧，同时，两线圈的匝长相等或相差不多，故具有较好的动平衡性。虽然机械平衡方面不及平行对绕法，但它的嵌绕次序规律性明显，而且容易掌握，操作起来也比平行对绕法方便，故在 11 槽电枢转子中常被选用。应用实例应要有老式的 G 型单相串励电动机，如 G30/40、G60/40、J1Z2-13-220V 手电钻以及 J1S-12 单相电动攻螺丝机等。

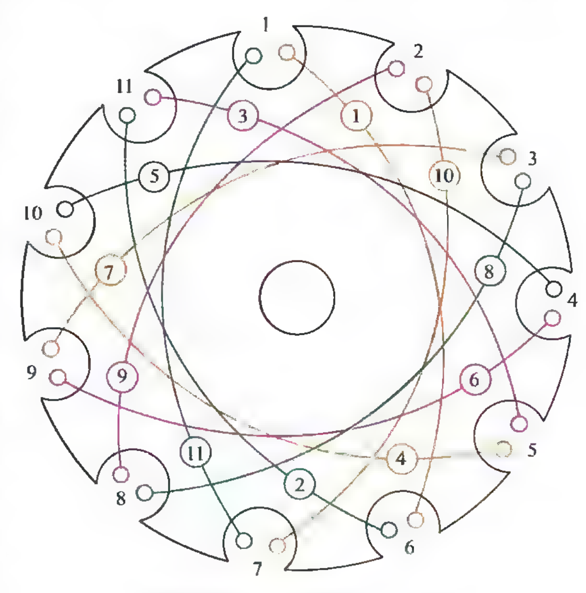


图 4-6（b）　11 槽 2 极（$y=5$）电枢转子 V 形对绕示意图

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-6（b）所示。

4.1.7 12 槽 2 极（$y=5$）电枢转子绕法

随着槽数增多，转子铁芯也相应变大，运行时转子离心力也增加。为避免端部重量不均带来的振噪，从本例起将不再推荐选用叠绕法。

4.1.7.1 V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

V 形对绕法的绕嵌要点是：尾随上次序跨距槽起绕。如本例 12 槽转子，线圈槽节距 $y=12/2-1=5$（槽），即第 1 只线圈从 1 号槽绕入，再跨 5 槽绕到第 6 槽（跨距槽）；第 2 只线圈起绕是 6 号槽，也跨节距绕入 11 号槽，如此类推，第 12 个线圈（8—1）又回到 1 号槽。整个嵌绕工序完成。嵌绕顺序见表 4-7（a）。

表 4-7（a） V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6
线圈槽号	1 6	6 11	11 4	4 9	9 2	2 7
嵌绕次序	7	8	9	10	11	12
线圈槽号	7 12	12 5	5 10	10 3	3 8	8 1

(2) 工艺特点及应用举例

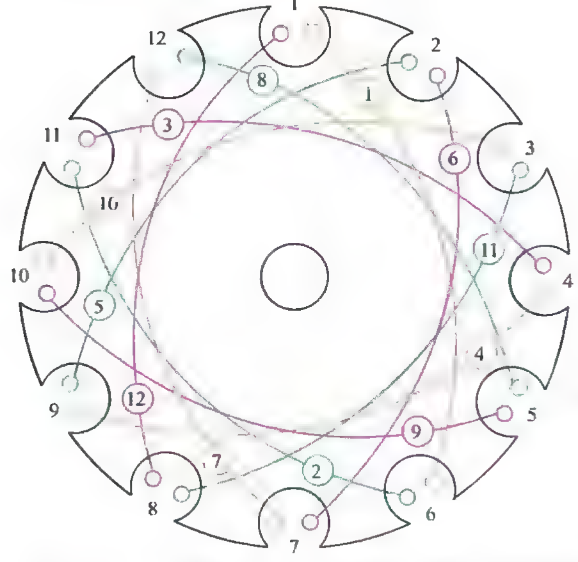


图 4-7（a） 12 槽 2 极（$y=5$）电枢转子 V 形对绕示意图

V 形对绕法的绕次规律比较容易掌握，一般熟练绕线工都可在没有图纸的条件下正确施工，故其操作方便优于平行对绕法；而且，V 形对绕法适应性强，可适用于奇数槽和偶数槽任何槽数的转子。它是把先后嵌绕的两线圈端部呈 V 形分布于转轴两侧，故机械动平衡性优于叠绕法。V 形对绕法应用于 12 槽转子的单相串励电动机，如 J1Z-19 低压手电钻等。

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-7（a）所示。

4.1.7.2 十字平行对绕法

(1) 平行对绕方法与次序

本例转子 12 槽，属偶数，而且槽数是 4 的倍数，故可采用十字平行对绕嵌线，这时除把每对线圈端部平行安排于转轴两侧外，并要求另一对平行线圈的中心线与上一对中心线垂直呈十字。例如本例中黄色的两对呈十字对称；另外，绿色两对、红色两对也分别呈十字对称。十字平行对绕法的嵌绕顺序见表 4-7 (b)。

表 4-7 (b) 十字平行对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6
线圈槽号	1 6	7 12	4 9	10 3	3 8	9 2
嵌绕次序	7	8	9	10	11	12
线圈槽号	12 5	6 11	11 4	5 10	2 7	8 1

(2) 工艺特点及应用举例

十字平行对绕不但每对线圈在端部都是平行对称安排在转轴两侧，而且每两对线圈又都呈十字对称，所以它是电枢转子最理想的缠绕方法。但其构成条件最苛刻，除要求槽数为偶数外，还必须用 4 去除尽槽数才能成立。虽然十字平行绕法的电气和机械平衡都较好，但端部所占空间过大而不够紧凑，运行时风耗损失稍大，但散热效果则更好。十字平行对绕法适用于老系列 U80/50-220D 单相串励电动机、日本 2414-355 型单相电动型材切割机等 12 槽转子的绕制。

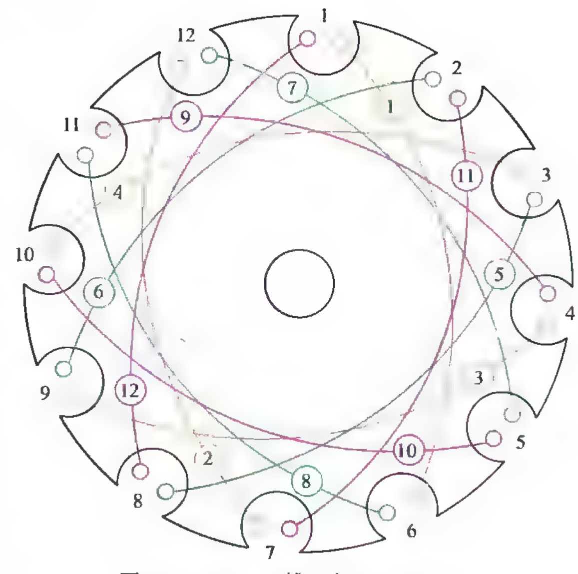


图 4-7 (b) 12 槽 2 极 ($y=5$)
电枢转子十字平行对绕示意图

(3) 电枢转子十字平行对绕法示意图

如图 4-7 (b) 所示。

4.1.8　13 槽 2 极（$y=6$）电枢转子绕法

（1）V 形对绕方法与次序

单相串励电动机中，13 槽已算属中容量的转子，故不推荐用叠绕法；但奇数槽又不能用平行对绕，故只有 V 形对绕法可用。

本例槽节距 $y=(13-1)/2=6$，嵌绕的基本规律是：尾随上次序的跨距槽起绕。即线圈从 1 号槽起绕并跨节距绕到跨距槽 7，然后下一线圈又从槽 7 绕入再跨距绕入槽 13。如此类推，最后把第 13 只线圈（8—1）绕满并回到槽 1。嵌绕顺序见表 4-8。

表 4-8　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7
线圈槽号	1—7	7—13	13—6	6—12	12—5	5—11	11—4
嵌绕次序	8	9	10	11	12	13	
线圈槽号	4—10	10—3	3—9	9—2	2—8	8—1	

（2）工艺特点及应用举例

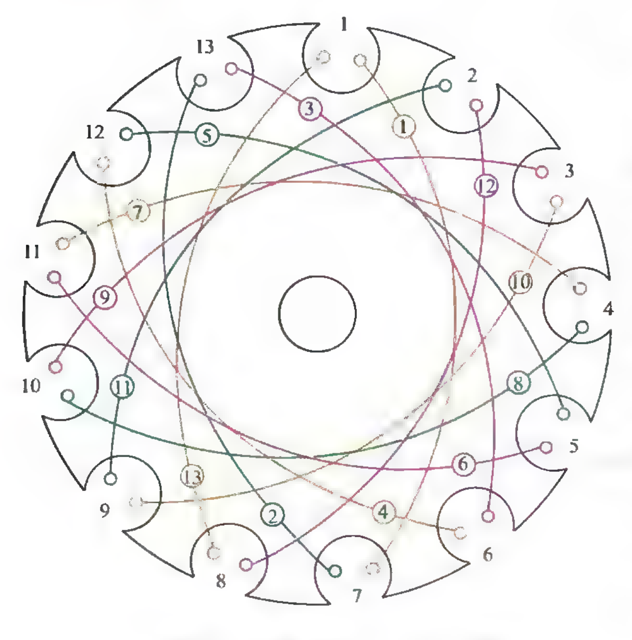


图 4-8　13 槽 2 极（$y=6$）电枢转子 V 形对绕示意图

V 形对绕法也适用于任何槽数的转子，其嵌绕难度与叠绕法相当，但每对前后绕入的线圈，其端部都呈 V 形置于转轴两侧，且线圈匝长也基本相同，故其电气及机械的平衡效果都较好。嵌线操作也容易掌握；故在奇数槽转子中常被选用。如 G 系列通用型串励电动机 G56/26 等都采用这种绕法。

（3）电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-8 所示。

4.1.9　15 槽 2 极（y=6）电枢转子绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例是奇数槽，其嵌绕弃用叠绕法后只可用 V 形对绕法，其嵌绕特点依然是：尾随上次序的跨距槽起绕下一线圈。故本例绕入线圈（1—7）后，尾随槽 7 绕入再跨节距绕进槽 13；余类推，但绕至第 5 只线圈（10—1）又回到槽 1 形成第 1 个闭路。然后从槽 2 进入第 2 闭路；槽 3 进入第 3 个绕行闭路。具体嵌绕顺序见表 4-9。

表 4-9　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1—7	7—13	13—4	4—10	10—1	2—8	8—14	14—5
嵌绕次序	9	10	11	12	13	14	15	
线圈槽号	5—11	11—2	3—9	9—15	15—6	6—12	12—3	

(2) 工艺特点及应用举例

15 槽转子正常短节距应为 $y=(15-1)/2=7$（槽），而本例取 $y=6$，短于正常短距，但采用 V 形对绕时将形成三个绕行闭路，图中将用黄、绿、红三色分别画出。每个闭路由 5 只线圈均匀分布于转轴外围，有较理想的动平衡效果，三个回路错位叠加应能保持较好的动平衡。此例可应用于 15 槽转子的 J1Z-19 型手提电钻。

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-9 所示。

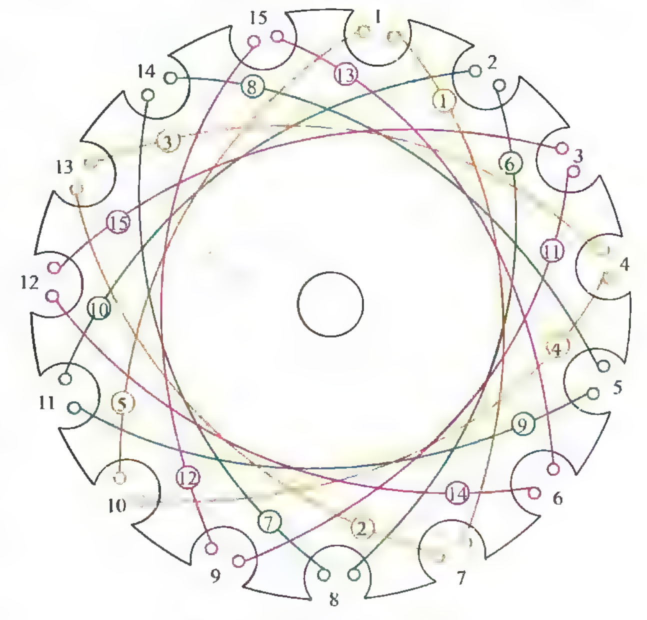


图 4-9　15 槽 2 极（y=6）电枢转子 V 形对绕示意图

4.1.10　15 槽 2 极（$y=7$）电枢转子绕法

（1）V 形对绕方法与次序

本例与上例都是 15 槽 2 极转子，但本例采用正常短距，$y=(15-1)/2=7$（槽），当第 1 只线圈（1—8）绕完之后，第 2 只线圈便尾随前一跨矩槽绕入，完成线圈（8—15）。循此类推，将最后 1 只线圈（9—1）绕行又回到 1 号槽，整个绕行构成一个闭合回路。本例 V 形对绕法的嵌绕顺序见表 4-10。

表 4-10　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1－8	8－15	15－7	7－14	14－6	6－13	13－5	5－12
嵌绕次序	9	10	11	12	13	14	15	
线圈槽号	12－4	4－11	11－3	3－10	10－2	2－9	9－1	

（2）工艺特点及应用举例

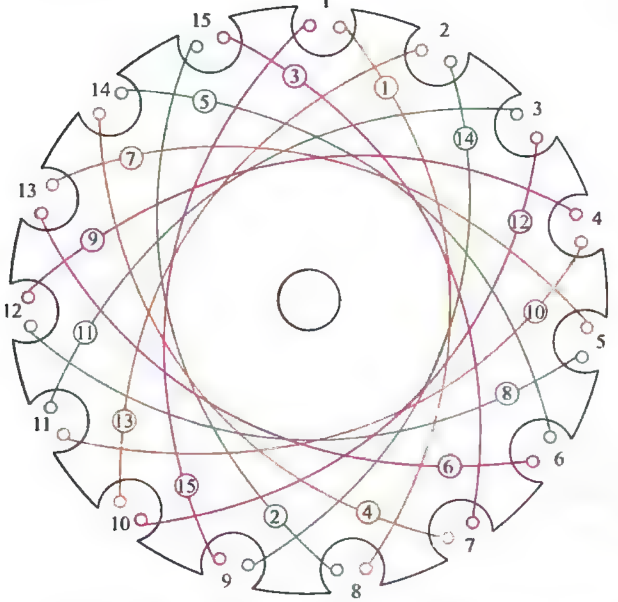


图 4-10　15 槽 2 极（$y=7$）电枢转子 V 形对绕示意图

V 形对绕法适用于任何槽数的转子，但在相同的绕行规律，即尾随上一次序跨距槽起绕下一只线圈。如果选用的节距不同，由表 4-10 与表 4-9 比较可见，当 $y=6$ 时 V 形对绕形成 3 个绕行回合；而 $y=7$ 时则只有一个回合闭路。但无论哪种绕法，每对 V 形线圈端部都分置于转轴两侧，都具有较好的动平衡性。本例绕法应用于 J1Z-23 手提电钻。

（3）电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-10 所示。

4.1.11 16 槽 2 极（y=7）电枢转子绕法

4.1.11.1 V 形对绕法

(1) V 形对绕方法与次序

本例是偶数槽，V 形对绕时从 1 号槽绕入跨节距再进入 8 号槽，然后下一线圈便跟随跨距槽绕入后再跨距，循此绕嵌，到最后一线圈（10—1）又回到 1 号槽，构成一个绕行回合。V 形对绕法的嵌绕顺序见表 4-11（a）。

表 4-11（a） V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1 8	8 15	15 6	6 13	13—1	4 11	11 2	2 9
嵌绕次序	9	10	11	12	13	14	15	16
线圈槽号	9 16	16 7	7 11	14 5	5 12	12 3	3 10	10 1

(2) 工艺特点与应用举例

本例属于单闭路 V 形对绕，它的每对相继绕入的 V 形线圈在转子端部都分布于转轴两侧，且其线圈匝长也基本相同，故无论是电气还是机械的平衡性都较好，而且嵌绕操作也容易掌握，故在 16 槽的转子电枢中被应用。主要应用如旧系列中的 U 型单相串励电动机中的 U180/40-220 等。

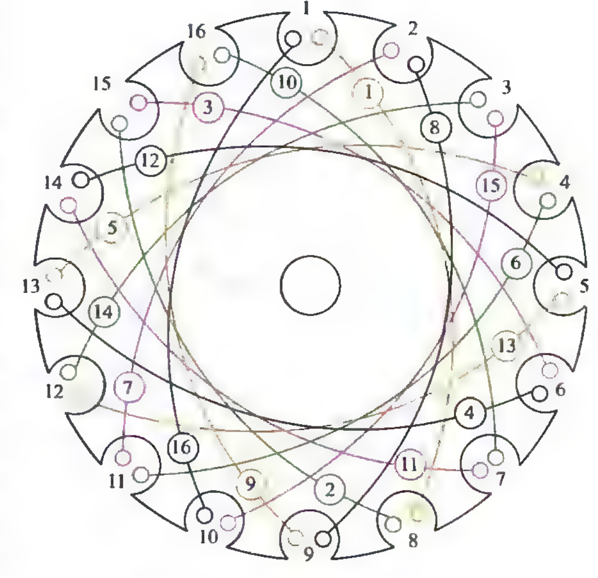


图 4-11（a） 16 槽 2 极（y=7）电枢转子 V 形对绕示意图

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图

如图 4-11（a）所示。

4.1.11.2　平行对绕法

(1) 平行对绕方法与次序

本例转子是偶数槽，除上例可用 V 形对绕法外，还可用本例的平行对绕法。平行对绕法只要求每对线圈绕好后，其端部分置于转轴两侧，并呈平行状态。因此，第 1 只线圈从 1 号槽起绕后跨节距绕入槽 8，绕满匝数后构成线圈（1—8）。然后，第 2 只线圈安排在转轴另一侧，并使其端部平行于前绕线圈，即使（1—8）//（9—16），如图中黄线①、②所示。下一线圈则尾随上一次序跨距槽 16 起绕，同理，使（16—7）//（8—15），如图中黑线③、④所示。如此类推，最后一对线圈（10—1）//（2—9），图中绿线⑮、⑯所示。平行对绕法嵌绕顺序见表 4-11（b）。

表 4-11（b）　平行对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1—8	9—16	16—7	8—15	15—6	7—14	14—5	6—13
嵌绕次序	9	10	11	12	13	14	15	16
线圈槽号	13—4	5—12	12—3	4—11	11—2	3—10	10—1	2—9

(2) 工艺特点及应用举例

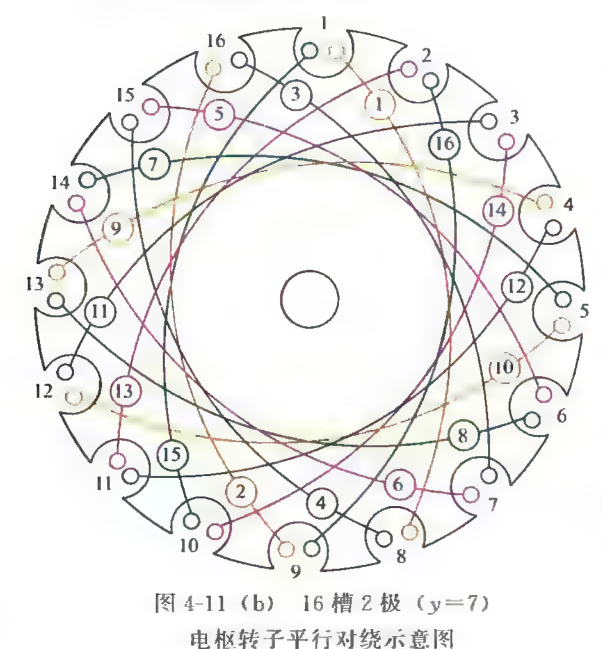


图 4-11（b）　16 槽 2 极（y=7）
电枢转子平行对绕示意图

本例是 16 槽的偶数槽转子，故可适用平行对绕法，此法使端部平行对称，而每对平行线圈的匝长相等，故无论是电气还是机械方面，其平衡效果都好于叠绕法，也稍好于 V 形对绕法。但它不能实施于任何槽数，而只能用于偶数槽转子；另外，其法不如 V 形对绕好记，一般都宜按图实施。本例可用于 U120/40-220 嵌绕。

(3) 电枢转子平行对绕法示意图

如图 4-11（b）所示。

4.1.11.3　十字平行对绕法

(1) 十字平行对绕方法与次序

16 槽转子是 4 的倍数，所以还可采用十字平行对绕法。嵌绕时如前把第 1 只线圈（1—8）嵌绕完成，接着第 2 只线圈（9—16）安排在转轴另一侧，并使之（1—8）//（9—16）；然后，再把另一对线圈（5—12）//（13—4），如图中黄色线圈①、②和③、④。由图可见这两对线圈（端部）中心线相交，且垂直呈十字。下一对平行线圈从上次跨距槽（槽 4）起绕，同理可安排绿色、红色、黑色 4 组十字平行的线圈。十字平行对绕嵌线次序见表 4-11（c）。

表 4-11（c）　十字平行对绕法

嵌线次序	1	2	3	4	5	6	7	8
线圈槽号	1　8	9　16	5　12	13　4	4　11	12　3	3　10	11　2
嵌绕次序	9	10	11	12	13	14	15	16
线圈槽号	7　14	15　6	11　2	3　10	10　1	2　9	6　13	14　5

(2) 工艺特点及应用举例

十字平行绕法必须使每对线圈分布在转轴两侧对称平行，相继嵌入的两对平行线圈的中心线应交叉垂直。这种绕法可以确保每一对线圈的匝长相等而取得较好的电气性能，而且机械动平衡也有较好的效果。但其绕法的工艺性比 V 形对绕差，其绕行的规律性难以掌握，故重绕时最好依图进行嵌绕；此外，运行时的风耗损失也较大。本例适用于老系列的 SU-2-220 交直流串励电动机修理的嵌绕。



图 4-11（c）　16 槽 2 极（$y=7$）电枢转子十字平行对绕示意图

(3) 电枢转子十字平行对绕法示意图

如图 4-11（c）所示。

4.1.12　19 槽 2 极（$y=9$）电枢转子绕法

(1) V 形对绕方法与次序

19 槽转子属容量较大的串励电枢，通常都不选用叠绕法嵌线，故只介绍 V 形对绕方法。嵌绕时从 1 号槽绕入再跨节距到 10 号槽，完成第 1 只线圈（1—10），再从 10 号槽跨到 19 号槽绕完线圈（10—19）。循此类推，尾随上一次序的跨距槽起绕下一线圈，最后第 19 只线圈（11—1）回到 1 号槽构成闭合绕行回路。嵌绕的顺序见表 4-12。

表 4-12　V 形对绕法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
线圈槽号	1—10	10—19	19—9	9—18	18—8	8—17	17—7	7—16	16—6	6—15
嵌绕次序	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
线圈槽号	15—5	5—14	14—4	4—13	13—3	3—12	12—2	2—11	11—1	

(2) 工艺特点及应用举例

能适用于奇数槽也可用于偶数槽是 V 形对绕法的特点之一；此外，每对 V 形线圈都分布于转轴的两侧，而且两只线圈的匝长相等，不但使它具有较好的机械平衡性，而且也使电气上获得相应的平衡。同时，V 形对绕的操作不难掌握，故常被电枢转子的嵌绕所采用。本例 V 形对绕法主要应用于 19 槽转子，如通用型交直流两用 $\phi 90$ 毫米冲片串励电机转子绕组、G250/40 单相串励电动机转子以及通用型 G 系列的 G7126 串励电动机转子等。

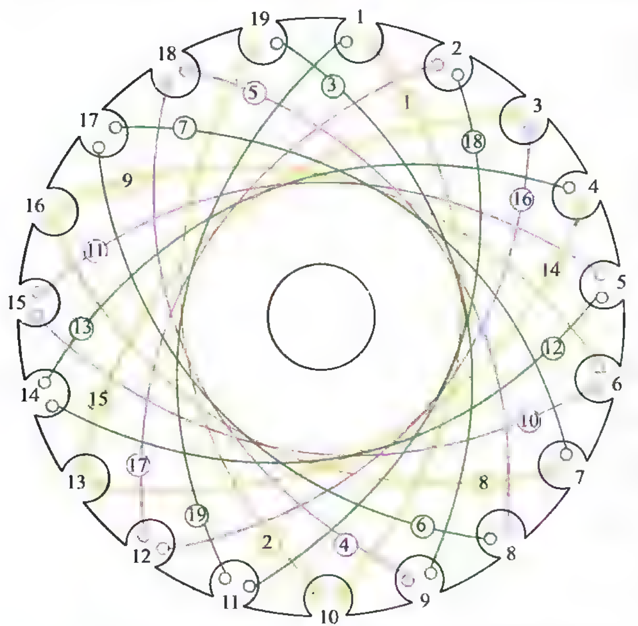


图 4-12　19 槽 2 极（$y=9$）电枢转子 V 形对绕示意图

(3) 电枢转子 V 形对绕法示意图如图 4-12 所示。

4.2 通用型国产系列单相串励电动机电枢绕组（局部）布接线图

本节串励电枢布线接线图例是根据国产系列通用型电机实例绘制，但由于生产厂家较多，在同一规格产品中，绕组的接线会有变化，故本图例采用的接线仅供参考。拆除绕组修理时，可根据槽内元件出线头与换向器的相对位置标记，找出相应图例进行接线。如果修理中疏忽或其他原因而无法确定原来接线定位，可参考机工版的《中小型电机修理》一书中的有关交直流串励电枢绕组接线所述内容，确定线头与换向器大概的相对位置，再行接线。

转子电枢绕组端面布接线图虽能全面反映其布接线，但由于线条繁杂，用起来却未觉方便。其实重绕时，只要按拆线记录，把 1 号（始）槽的元件正确接入换向器，则下一槽便可循此尾随接入，只要不漏接或重接，则最后一元件的尾端必定回接到 1 号换向片。所以，本书采用局部画法，只画出始槽线圈布接线，再画出第 2 槽线圈及最后一槽线圈的局部布接线图。为方便读者使用本图例，特作说明如下。

① 简化图下方的方格条表示换向器，每格代表 1 换向片，两片之间的间隔墨线代表云母片；上方大圆及数字代表转子槽及槽号，其上下端小圆之间的粗直线代表线圈在槽中的有效边；上面跨于两有效边的弧线则是两槽线圈端部；下部从小圆分出的线条是该槽线圈各元件线端，按规定与相应换向片相接。

② 为清晰醒目容易区分，简化图用黄、绿、红、黑四色绘制，其中始槽（1 号）及线圈用绿色；尾随的 2 号槽线圈用红色；最后一槽线圈用黄色画出。

③ 转子电枢绕组的线圈是指几根导线嵌绕的手绕线圈，它包含 n 个元件，并用 n 种彩色线条画出。一般 $n=1\sim3$，但线圈中，同一元件的首、尾端颜色相同。

④ 单相串励电动机电枢均为二极单叠绕组，换向片节距固定为 $y_K=1$（1—2）片；故同一元件首、尾两端必须接入相邻两换向片。如图 4-13 所示，1 号槽线圈（黄色）首端接入换向片 1，其尾端（黄色）跨至 4 号槽引出后接到片 2；同理，绿色头接片 2，尾接片 3。余类推。

⑤ 单相串励转子装配结构分如下两类。

A 类：槽中心线与换向片之间的云母片重合；

B 类：槽中心线与换向片中心线（大致）重合。

⑥ 线圈与换向器接线形式归纳为两种：

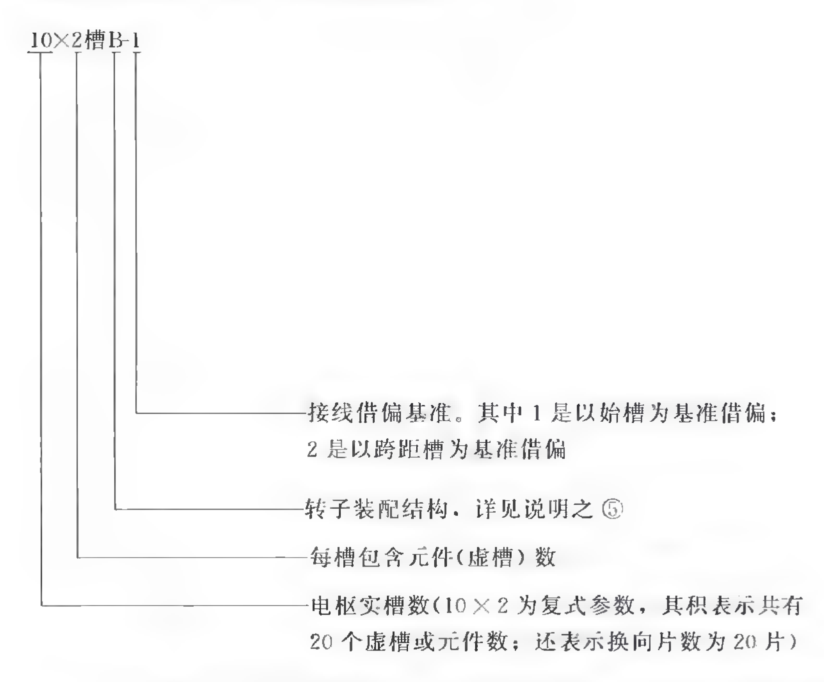
“1”是以始槽为基准借偏接线；

“2”是以跨距槽为基准借偏接线。

如何确定接线的正对或借偏将在各例中说明。

⑦ 换向片的“借偏”接线是以槽中心线为基准计，但有两种表示形式：一是以每槽所占换向片数的中心线与槽中心线的偏移片数表示；另一是以 1 号换向片中心线与槽中心线的偏移片数表示。因前者较规范，为本书采用的借偏形式。

⑧ 标题含义：标题以复式参数表示。



本节是通用型单相（含交直流）串励电动机，具体包括国产新老型号，如 U 型、G 型、G 系列单相串励电动机及 SU 型交直流两用串励电动机电枢绕组图共 11 例。

4.2.1　8×3槽（y=3）通用型B-1类（正对接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=8$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—4$

换向片数　$K=24$　　换向节距　$y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例转子的换向片中心线与始槽中心线 O_Z 重合，是B-1类结构。每槽元件数 $n=3$，即每槽含换向片3片，如图4-13所示，1号槽3元件分别接入1、2、3号换向片，而接入3片的中心线在2号片中心线上，即与槽中心线重合，故其接线属“正对”接线。该线圈跨距进入槽4时，3个元件的尾线分别对应接到换向器的2、3、4号片上；第2槽线圈3个元件头端顺次接入换向片4、5、6，其跨距槽5的尾线则分别接到片5、6、7。其余由此类推。凡串励电枢绕组的接线原理均与此同。

本例单相串励电动机电枢绕组虽是按正对接线设计，但线圈元件与换向片间的连接关系通用于其他借偏（非正对）接线的8×3槽B类结构的转子。因为借偏接线仅是每槽换向片中心与槽中心线位置的相对偏移，因此，只要按重绕拆线时确定1号槽元件接入换向器1、2、3片的确切位置，便可参考此图进行接线。

电枢用3根导线并绕，手绕方法可参考图4-3。

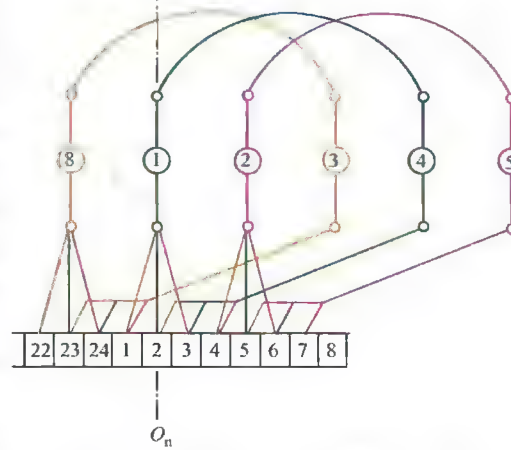


图4-13　8×3槽（y=3）通用型B-1类（正对接线）单相电枢绕组

(3) 绕组主要应用举例

本例绕组主要应用于国产通用系列或其他专用系列的8×3槽，正对接线的电枢绕组。

(4) 绕组端面布接线图

8×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-13所示。

4.2.2 10×2槽（$y=4$）通用型B-1类（左借0.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=10$　　每槽元件　$n=2$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—5$

换向片数　$K=20$　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子槽的中心线 O_Z 与换向片中心线重合，属B类转子结构；而绕组是以始槽为基准借偏接线，故其类型为B-1类。因为 $n=2$，即每槽接入换向片为2，故 n 片中心 O_n 在1号片和2号片之间，如图4-14所示；它与槽中心线 O_Z 之间相距0.5片，而且在 O_Z 左侧，故称“向左借偏0.5片接线”。此转子是偶数槽，线圈槽节距 $y=4$，而极距 $\tau=Z/2p=10/2=5$，故短于极距1槽，属短节距布线。嵌绕时用2根导线并绕，即每线圈包含元件数 $n=2$，图中用黄、绿两种彩色线条表示两个元件线头。这时由图可见，1号（槽）线圈接入换向片1、2，跨节距到5号槽的线尾接到换向片2、3；同理，2号线圈头接入片3、4，尾接4、5。循此连接，最后10号线圈头接片19、20，而尾端接到20、1，即回到换向片1，形成完整的闭合回路。电枢嵌线用手绕，嵌绕方法参考图4-5。

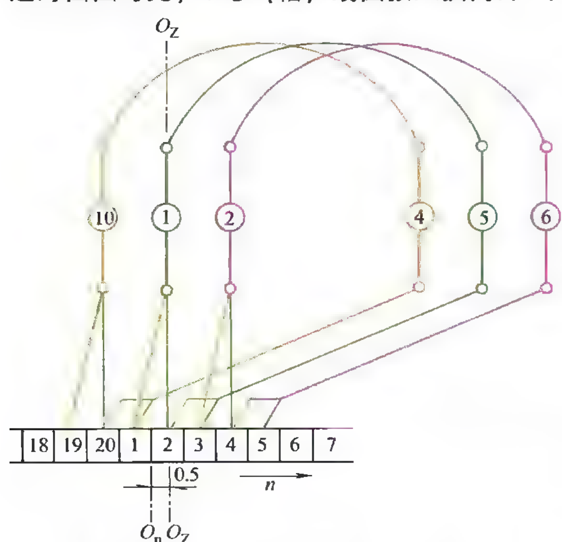


图4-14　10×2槽（$y=4$）通用型B-1类（左借0.5接线）单相电枢绕组

（3）绕组主要应用举例

本例绕组应用实例有U15/40-220、U15/56-220D等通用系列单相串励电动机。

（4）绕组端面布接线图

10×2槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-14所示。

4.2.3 11×3槽（$y=5$）通用型A-2类（右借2.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=11$　　每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—6$

换向片数 $K=33$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

基准槽中心线与换向器云母片中心线重合，转子属A类结构。线圈以跨距槽为基准借偏，每槽所占3片换向片，n片的中心O_n在2号片中心，且与跨距槽中心线右侧相距2.5片，故是“右借2.5接线”。即槽6的3个元件接入换向片1、2、3；其尾端由槽1引出接到片2、3、4。第2个线圈由槽7引接到片4、5、6，尾端接到片5、6、7；而最后1个线圈则尾线必然回到换向片1，否则必定有漏接或重接错误。

由图可见，1号元件头端（黄色）接到片1，而尾端（黄色）是向右接到片2的，这与前面两例相同均属右行绕组。本绕组与前面例不同的是借偏基准不同。手绕嵌绕方法参考图4-6。

（3）绕组主要应用举例

本例绕组主要应用于国产G系列单相串励通用型电动机，如G40/40、G60/40等。

（4）绕组端面布接线图

11×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-15所示。

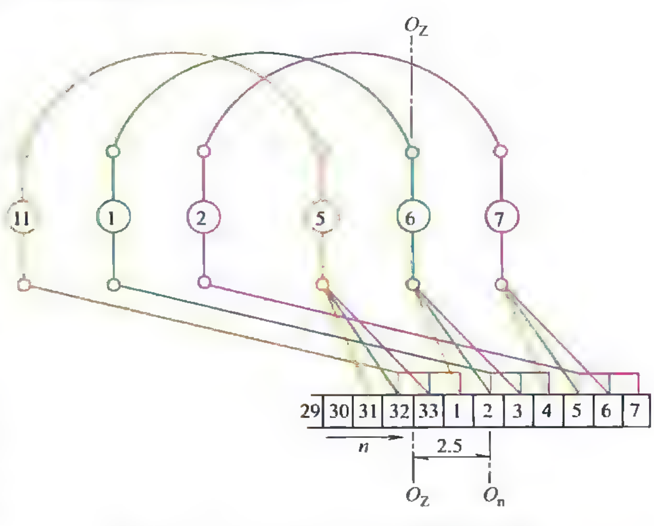


图4-15　11×3槽（$y=5$）通用型A-2类（右借2.5接线）单相电枢绕组

4.2.4 11×3 槽（$y=5$）通用型 A-2 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=11$　　每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—6$

换向片数 $K=33$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例绕组也是以跨距槽为基准，槽 6 是基准槽，其元件首端接入换向器 1、2、3 片，其 n 片中心在 2 号片如图 4-16 所示。因 O_n 在基准槽中心 O_Z 右侧且相距 0.5 片，故谓“右借 0.5 接线”。此绕组也是右行绕组，基准槽线圈跨节距并由始槽（1 号）引出尾端接到片 2、3、4。同理，第 2 只线圈（槽 7）引接到片 4、5、6、而尾端由槽 2 引接到 5、6、7。依此类推，最后一只线圈从槽 5 引出接到片 31、32、33，其尾端由槽 11 引接到片 32、33、1，即回到槽 1 构成闭合回路。如果最后一根尾端不能回到槽 1，说明前面接入换向器的线头有重叠即某换向片有接入 3 个线端的可能；若最后接入 1 号片后还有线头剩余则是前面有漏接。

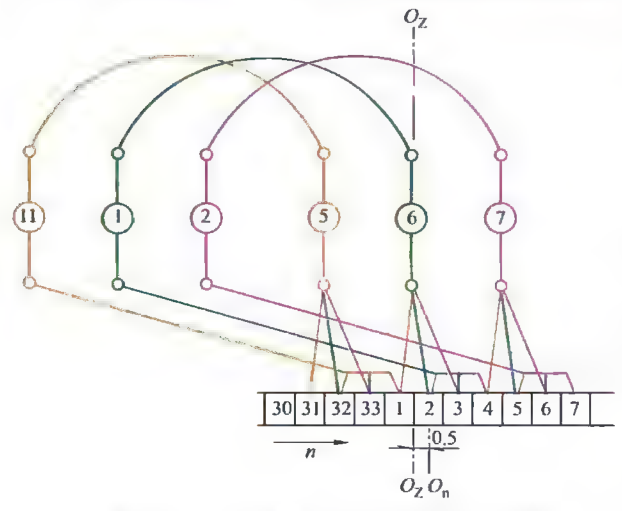


图 4-16　11×3 槽（$y=5$）通用型 A-2 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

绕组嵌线采用手绕，一般宜用 3 根并绕，但也可分开单个元件绕嵌，嵌线方法和顺序参考图 4-6。

（3）绕组主要应用举例

本例绕组应用于 G 型老系列，如 G30/40、G25/40 等通用型单相串励电动机。

（4）绕组端面布接线圈

11×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-16 所示。



4.2.5　12×2槽（$y=5$）通用型B-1类（左借1.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数	$Z=12$	每槽元件	$n=2$
电机极数	$2p=2$	实槽节距	$y=1—6$
换向片数	$K=24$	换向节距	$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子是B-1类结构，即槽中心线 O_Z 与换向片中心重合，且以始槽为基准借偏。每槽元件数 $n=2$，而始槽（1号）两元件接入换向片1、2，由图4-17可见，n片中心在1、2槽中间，并处于基准槽 O_Z 左侧相距1.5片，故是“左借1.5接线”。绕组接线从1号槽起接，其尾端跨节距从6号槽引出并接入换向片2、3；2号线圈头端接入片3、4，尾端接到4、5；每片换向片都必须接入不同元件的头和尾两个线头。如此类推，到最后一元件必须回接到1号（即起始换向片）构成闭合回路。

此绕组接线可用于正反转电动机（见图下双向箭头所示）；而且也是常用的右行绕组。本例宜用手绕嵌线，并常用双根并绕，嵌绕方法与顺序参考图4-7。

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要应用于国产通用老型号的单相串励电动机，如U40/36-110D、U40/36-24D等。

（4）绕组端面布接线图

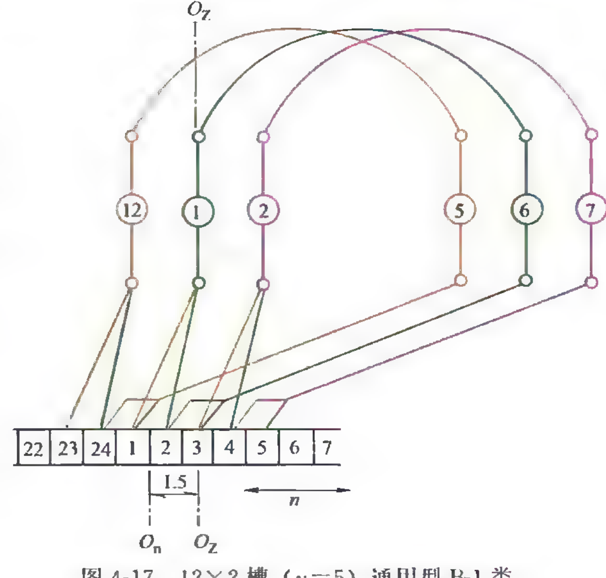


图4-17　12×2槽（$y=5$）通用型B-1类（左借1.5接线）单相电枢绕组

12×2槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-17所示。

4.2.6 12×3 槽（y=5）通用型 B-1 类（正对接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=12$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=36$　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例绕组仍以始槽为基准借偏，且始槽中心线 O_Z 与换向片中心线重合，故属 B-1 类绕组。而绕组每槽元件 $n=3$，n 片中心线 O_n 如图 4-18 所示，它正好与基准槽中心线 O_Z 重合，即没有借偏，故称“正对接线”。本例 1 号槽和 2 号槽头端 3 元件分别接到换向片 1、2、3 和 4、5、6；而尾端则接入片 2、3、4 和 5、6、7，如此类推，最后将 12 槽线圈头端接到 34、35、36，尾端再接 35、36 和 1，即回到起始换向片。

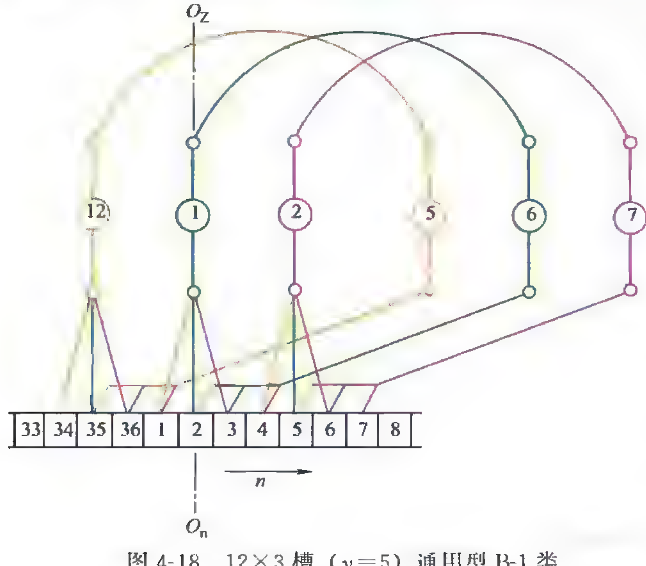


图 4-18　12×3 槽（y=5）通用型 B-1 类（正对接线）单相电枢绕组

本例绕组仍是右行接法，适用于单转向运行。嵌绕时宜用 3 根导线并绕，手绕方法及顺序可参考图 4-7。

（3）绕组主要应用举例

本例绕组主要应用于通用型国产老系列单相串励电动机，实例有 U30/40-220 等。

（4）绕组端面布接线图

12×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-18 所示。

4.2.7　12×3 槽（y=5）通用型 B-1 类（左借 2.0 接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=12$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=36$　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例也是适宜用于双转向的绕组接线，同时也是以始槽为基准借偏的右行绕组，而且转子的始槽中心线与换向片中心线重合，所以属 B-1 类转子结构。绕组每槽元件数 $n=3$，即线圈由 3 根导线并绕而成，始槽接入换向片为 1、2、3，其 n 片中心如图 4-19 所示，它与始槽中心向左偏移 2 片，故是“左借 2.0 接线”。绕组第 1、2 槽头端接入换向片分别为 1、2、3 和 4、5、6，跨节距后尾端分别接到片 2、3、4 和 5、6、7。如此类推，最后一只线圈头端接入换向片 34、35、36，而尾端接到换向片 35、36 和 1 形成闭路。

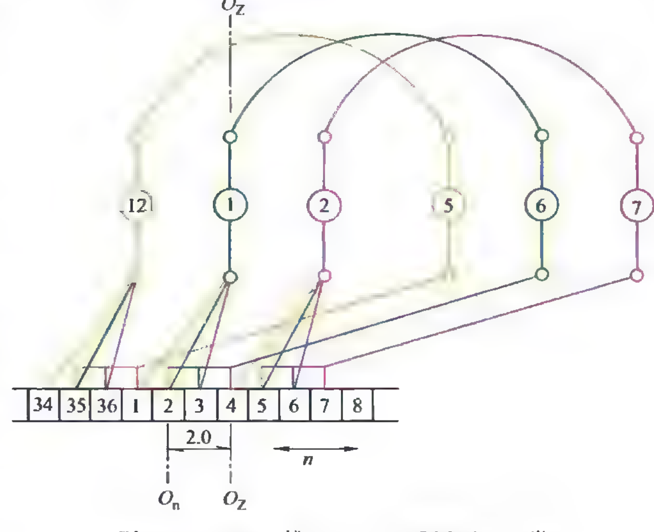


图 4-19　12×3 槽（y=5）通用型 B-1 类（左借 2.0 接线）单相电枢绕组

电枢宜用手绕，3 根导线并联绕入，嵌绕方法和顺序参考图 4-7。

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要应用实例有 U80/50-110D 及 U80/50-220D 等单相串励电动机。

（4）绕组端面布接线图

12×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-19 所示。

4.2.8 16×3 槽（y=7）通用型 B-1 类（斜槽正对接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=16$ 每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$ 实槽节距 $y=1—8$

换向片数 $K=48$ 换向节距 $y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例转子铁芯是斜槽，槽的中心线由铁芯中段槽口，并使其投影与转子轴中心线重合，这时，基准槽中心线 O_Z 落到 2 号片中间，正好与 n 片中心线 O_n 重合。所以此绕组是“正对接线”。由图 4-20 可见，槽 1 三个元件接到换向片 1、2、3，槽 2 三元件也距随其后接到片 4、5、6；而这两只线圈跨节距后则分别接入换向片 2、3、4 和 5、6、7。如此类推，最后一只线圈头端从槽 16 引出，三元件接到片 46、47、48，尾端跨到第 7 槽，三元件则接到片 47、48、1，即回到换向片 1 形成闭合回路。此绕组也是右行绕组，适用于单转向运转。

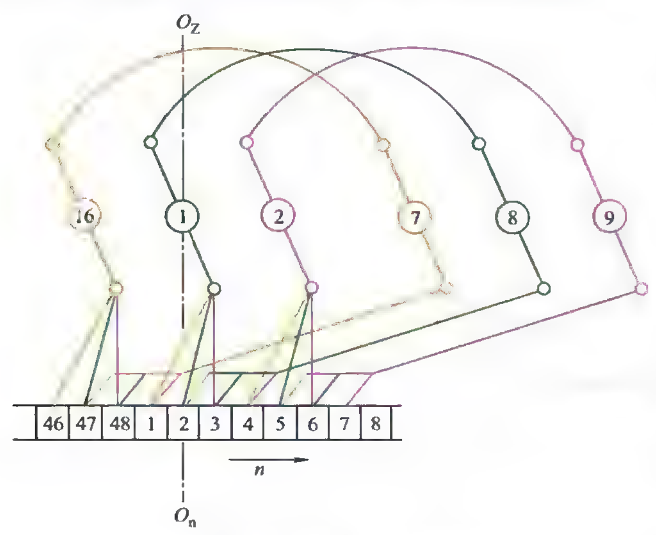


图 4-20 16×3 槽（y=7）通用型 B-1 类（斜槽正对接线）单相电枢绕组

电枢线圈用 3 根导线并行手绕，嵌绕方法和顺序参考图 4-11。

(3) 绕组主要应用举例

本绕组主要应用于国产 U 型单相串励电动机，如 U180/40-220、U120-40-220 等。

(4) 绕组端面布接线图

16×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-20 所示。

4.2.9　16×3槽（$y=7$）通用型B-1类（斜槽左借2.0接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数	$Z=16$	每槽元件	$n=3$
电机极数	$2p=2$	实槽节距	$y=1—8$
换向片数	$K=48$	换向节距	$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子是B类结构，槽中心线与换向片中心线重合，并采用斜槽铁芯，槽中心线取自铁芯中段，过槽口中点与转轴线平行的线为槽中心线。线圈以始槽为基准借偏，而槽中心线 O_Z 落在换向器4号片，与 n 片中心线 O_n 偏移2片，并在 O_Z 左侧，故是“左借2.0接线”。此绕组设计为正反转运行的右行绕组。始槽三元件接入换向器1、2、3片，线圈跨节距后其尾端接到换向片2、3、4；第2只线圈首、尾则分别接于4、5、6和5、6、7片。依此类推，槽16最后一只线圈首尾元件便分别接于片46、47、48和47、48、1，即最后接到1号换向片形成闭合回路。

本例绕组宜用3根导线并绕，手绕方法及嵌绕顺序参考图4-11。

（3）绕组主要应用举例

本例绕组主要应用于老型号的单相串励电动机，主要实例有SU-1、SU-2等。

（4）绕组端面布接线图

16×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-21所示。

图4-21　16×3槽（$y=7$）通用型B-1类（斜槽左借2.0接线）单相电枢绕组

4.2.10　19×2槽（y=9）通用型A-2类（左借1.0接线）单相电枢（左行）绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数	$Z=19$	每槽元件	$n=2$
电机极数	$2p=2$	实槽节距	$y=1—10$
换向片数	$K=38$	换向节距	$y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本绕组与前面各例有很大的不同，它的转子槽和换向片号都是逆向（从右至左）编号的，而它的始槽在右侧（前面的槽1都在左侧）。绕组每槽元件数 $n=2$，即每线圈有2个元件端线接入换向器，故始槽元件接入的换向片编号为1、2，其 n 片中心线 O_n 在之间的云母片上；而转子始槽的中心线 O_Z 落在片1右侧云母片如图4-22所示，故此转子绕组属A-1类结构。由图4-22可见，O_n 在 O_Z 左侧并相距1个换向片的距离，故称“左借1.0接线”。接线时，始槽线圈跨节距从跨距槽10引出尾线接入片2、3；这时可见，元件接入也与前面各例不同，是向左移行的，所以本例属左行绕组。

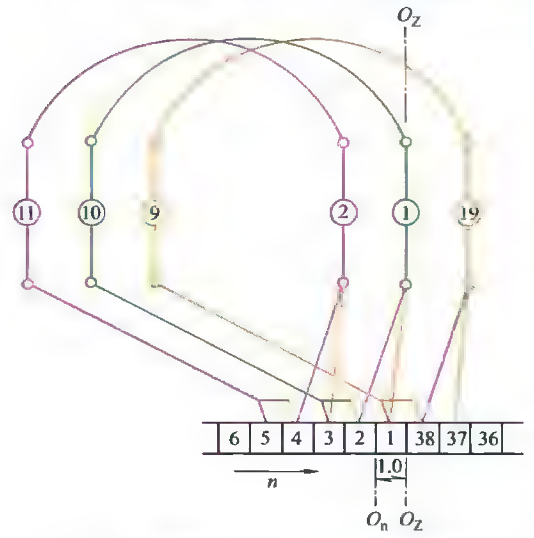


图4-22　19×2槽（y=9）通用型A-2类（左借1.0接线）单相电枢（左行）绕组

除上所述，本例接线规律与前相同，即下一槽尾随前槽接入，如槽2线圈头端尾随上槽接入片3、4，尾端也尾随接到4、5片。循此类推，最后槽9线圈头端接片37、38，而最后一个元件尾端则必须回到换向片1。

(3) 绕组主要应用举例

本绕组应用实例有G250/40等。

(4) 绕组端面布接线图

19×2槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-22所示。

4.2.11 19×2 槽（$y=9$）通用型 A-2 类（右借 1.0 接线）单相电枢（左行）绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=19$　　每槽元件 $n=2$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—10$

换向片数 $K=38$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例始槽中心线 O_Z 落在换向片之间的云母片上，故属 A 类；而以始槽借偏，所以是 A-1 类。本例绕组结构与上例相同，转子槽和换向片编号序次都是从右至左，其线圈元件的绕行方向也是从右至左，故是左行绕组。与上例不同的是始槽中心线 O_Z 在换向片 2、3 之间的云母片，而 n 片中心线 O_n 则在 O_Z 右侧，且相距 1 个换向片，故是“右借 1.0 接线”。

此外，接线规律仍是下一槽尾随前槽接入换向器，如本例 1 号槽接入片 1、2，2 号槽尾随接入 3、4 片；其尾端也分别接入 2、3 片和 4、5 片。而且最后一槽（19 槽）的尾端从槽 9 引出，最后一个尾端必定接到 1 号换向片，构成闭合的绕行回路。

电枢嵌线采用手绕，且建议用双线并绕，嵌绕方法和顺次可参考图4-12。

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要用于 G 系列单相串励电动机，应用实例有 G120/40、G180/40 等电枢转子。

（4）绕组端面布接线图

19×2 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-23 所示。

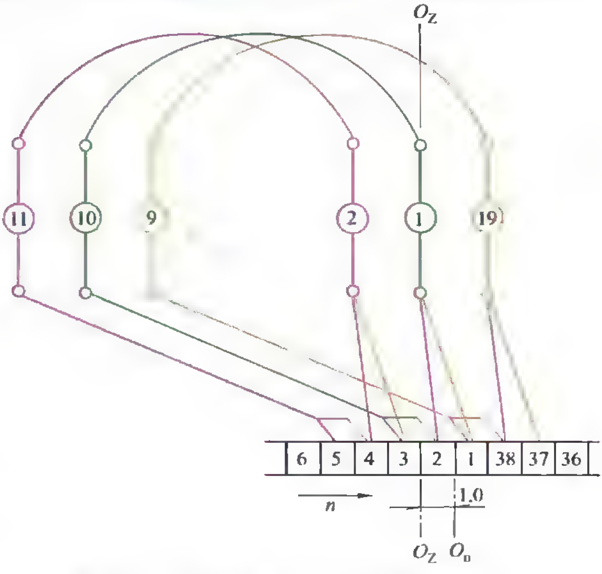


图 4-23　19×2 槽（$y=9$）通用型 A-2 类（右借 1.0 接线）单相电枢（左行）绕组

4.3 专用型系列单相串励电动机电枢绕组（局部）布接线图

本节单相串励电动机电枢与上节相通，不同的是收入图例侧重于专用产品，如包括手电钻在内的各种电动工具及家用电器中的交直流串励电动机的电枢绕组。为便于修理使用，布接线图仍用笔者创用的以实槽为单位的端面（局部）画法。图例及标题说明可参考上节介述。

本节收入串励电枢绕组 13 例。除前二例由于结构过简而用端面布接线全图画出外，其余均用局部简化画法。

4.3.1 3×1 槽（y=1）专用型 B-1 类（正对接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=3$　　每槽元件　$n=1$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—2$

换向片数　$K=3$　　换向节距　$y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例是单相串励（交、直流两用）电动机中结构最简单的型式，转子只有 3 槽和 3 片换向片，而电枢转子的中心线与换向片中心线重合，故属 B-1 类结构。由于 3 槽转子只有 3 只线圈，即每槽只有两个线圈边，即每线圈由单元件构成，故其虚槽数（3×1）即等于实槽数 3；而且槽节距也等于换向片节距。此绕组嵌绕时用单根导线嵌绕，其嵌绕次序也简单，仅需 3 次便可完成。嵌绕顺序可参考图 4-1。

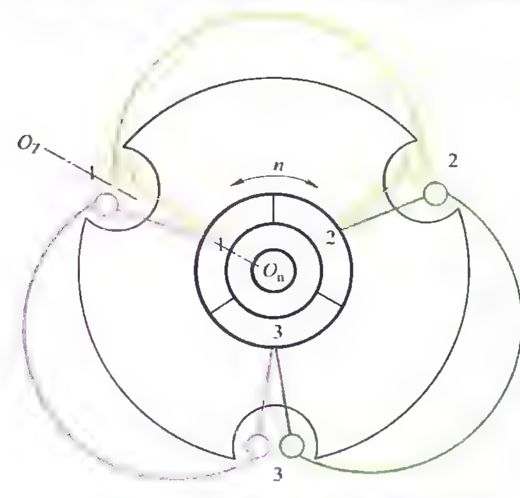


图 4-24　3×1 槽（y=1）专用型 B-1 类（正对接线）单相串励电枢绕组

(3) 绕组主要应用举例

本例电枢绕组应用于电动剃须刀、简易型电吹风以及电动玩具等。

(4) 绕组端面布接线图

本例电枢只有 3 槽，用局部简化图的效果不及全图，所以本例绘制成电枢端面布接线图如图 4-24 所示。

4.3.2 8×1槽（$y=3$）专用型B-1类（正对接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=8$　　每槽元件 $n=1$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—4$

换向片数 $K=8$　　换向节距 $y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例转子的槽中心线与换向片中心线重合，且以始槽为基准借偏，故属B-1类结构。每槽元件数 $n=1$，如图4-25中槽中心线 O_Z 与 n 片中心线 O_n 重合，故本绕组属正对接线。本例仍属结构最简的绕组之一，为使读者对端面布接线有全面的认识，本例仍采用全图绘制。

绕组接线以1号起接入1号接向片，其尾端（黑）接到相邻片2；槽2线圈（黄）接到片2而尾端接入片3，如此类推，最后槽8线圈（红）接入换向片8，其尾端回接到片1。从而构成闭合回路。此绕组属常用的右行绕组。嵌线用手绕，并用单线嵌绕。嵌线方法与顺序参考图4-3。

(3) 绕组主要应用举例

8×1槽串励电枢绕组属微容量的电机，实际应用不多，仅见于微型电吹风转子。

(4) 绕组端面布接绕图

8×1槽电枢端面布接线如图4-25所示。

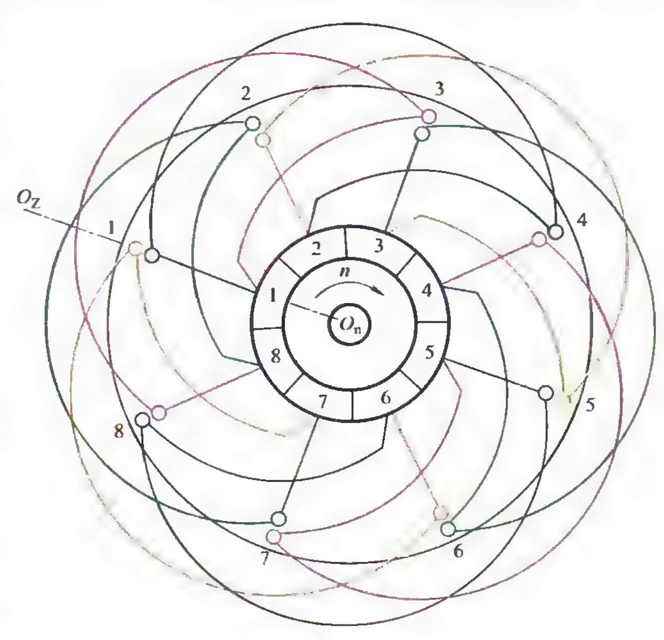


图4-25　8×1槽（$y=3$）专用型B-1类（正对接线）单相串励电枢绕组

4.3.3 9×3 槽（y=4）专用型 B-1 类（正对接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=9$　　每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—5$

换向片数 $K=27$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点：

本例绕组以始槽为基准接线，且始槽中心线 O_Z 与换向片中心线重合，故属 B-1 类结构。绕组每槽含 3 个换向片，即 $n=3$，即 3 片的中心线 O_n 在片 2 中心，正好与 O_Z 重合，即正对接线（无借偏接线）。接线时 1 号（槽）线圈 3 个头端接入换向片 1、2、3 片，尾端跨节距从跨距槽引出，接到片 2、3、4；2 号（槽）线圈接片 4、5、6，尾端接片 5、6、7。如此类推，最后第 9（槽）线圈的头端接入片 25、26、27，尾端接入 26、27、1 片，即构成闭合回路。

绕组嵌线采用手绕，$n=3$，故宜用 3 根导线并绕，手绕方法选用及顺序可参考图 4-4。

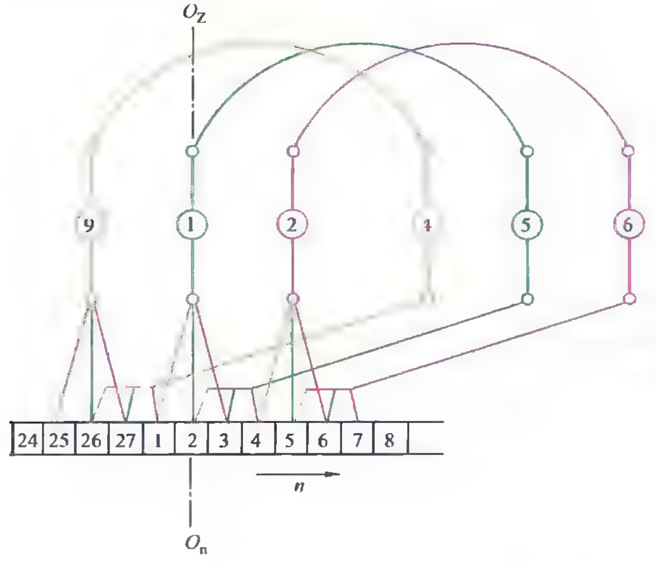


图 4-26　9×3 槽（y=4）专用型 B-1 类（正对接线）单相电枢绕组

（3）绕组主要应用举例

本例电枢绕组主要应用于 φ56mm 冲片的电动工具，如 SIMJ-100 电动砂轮机电动机、MIQ-3 单相电动曲线锯电动机等。

（4）绕组端面布线接图

9×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-26 所示。

4.3.4 9×3槽（$y=4$）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=9$ 每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$ 实槽节距 $y=1—5$

换向片数 $K=27$ 换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

转子为A类结构。换向片1号（起始换向片）在1号槽（起始槽）中心线附近，即线圈以始槽基准借偏，2号元件偏右半片接入换向器。此转子为9槽，按双层绕组概念则每槽所占1线圈，而每圈包含$n=3$元件（即用三根导线并绕），每元件的引线在图中用红、绿、黄三色线表示，每元件的首尾端接入相邻两换向片的线槽。因此槽1线圈的3元件便分别接入换向片1、2、3，线圈跨入槽5（上层）后，对应的3元件尾线则分别引接到换向片2、3、4。其余接线类推。最后一只线圈头端从槽9引出，接入换向器片25、26、27，其尾端接换向片26、27、1，即回接到起始换向片1。绕组嵌线用手绕，并用3根并绕。嵌绕方法及顺序参考图4-4。

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要用于ϕ56mm电动工具，如J1Z-6（36V、110V、220V）手提电钻；另外，Z1J-10单相冲击电钻也可能应用此绕组。

（4）绕组端面布接线图

9×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-27所示。

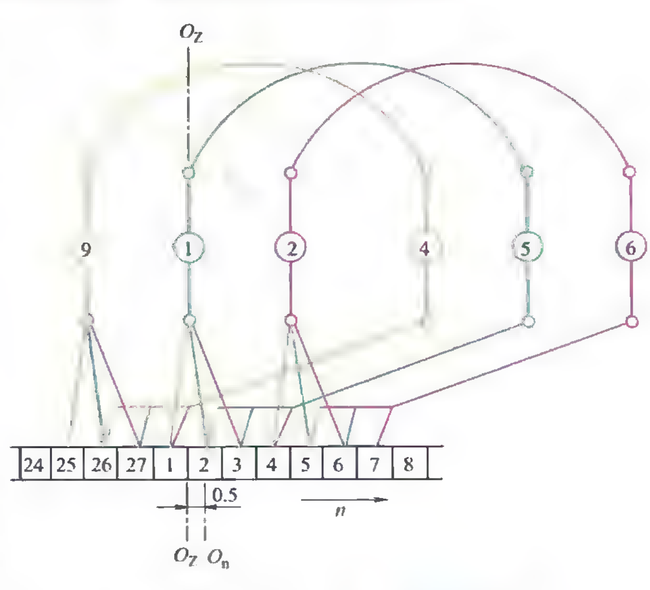


图4-27 9×3槽（$y=4$）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

4.3.5 11×3 槽（y=5）专用型 A-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=11$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=33$　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子是 A 类结构，并以始槽借偏接线。每槽元件 $n=3$，n 片中心在换向片 2 号，而始槽中心线与 1、2 号片之间的云母片重合，即两中心线相距半片，故是向右借偏 0.5 片接线方案。本例采用短距布线，实槽节距较极距缩短半槽；1 号线圈尾线从跨距槽引出后，分别对应接入换向片 2、3、4。同理，2 号（槽）线圈头尾则分别接到 3、4、5 和 4、5、6 片。如此类推。最后一只线圈头端接到片 31、32、33，尾端最后一元件则必定回接到换向片 1 形成回路；否则，前面肯定有错接现象。

绕组嵌线用手绕法，因 $n=3$，故用 3 根导线并行嵌绕。嵌线方法可有两种：一是叠绕法，另一是 V 形对绕法。具体方法与嵌绕次序可参考图 4-6。

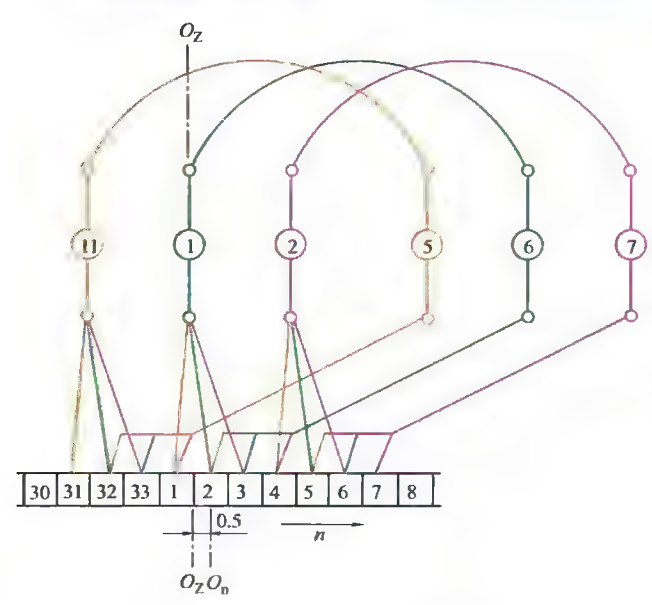


图 4-28　11×3 槽（y=5）专用型 A-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

（3）绕组主要应用举例

本绕组应用于某厂家的家用缝纫机的单相串励电动机。

（4）绕组端面布接线图

11×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-28 所示。

4.3.6 11×3槽（$y=5$）专用型B-1类（右借1.0接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=11$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=33$　　换向节距　$y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例转子槽中心线对准换向片中心线，属B类结构。而且，槽中心线穿过起始换向片，故是以始槽为基准借偏接线，这时1号片与槽中线重合，而 n 片中心线在片2，故属向右借偏1片接线。绕组每圈包含3元件，即用手绕时由3根导线并绕，每元件的引线分别用绿、黄、红三色表示，并接到换向片1、2、3；因每元件首尾端必须接在相邻换向片上，故其尾端应接入换向片2、3、4。尾随线圈的头也尾随上一线圈端头接入片4、5、6，而尾则接5、6、7片。余类推。至最后一只线圈的头必定接入片31、32、33，而尾端则接入片32、33并回到片1。

此绕组用3根导线并绕，嵌绕方法和嵌线顺序参考图4-6。

(3) 绕组主要应用举例

本绕组主要用于国产系列 ϕ71mm冲片专用电动机。如S1MJ-125单相电动砂轮机的串励电动机，P1B-16单相电动扳手用串励电动机等都可能采用本绕组。

(4) 绕组端面布接线图

11×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-29所示。

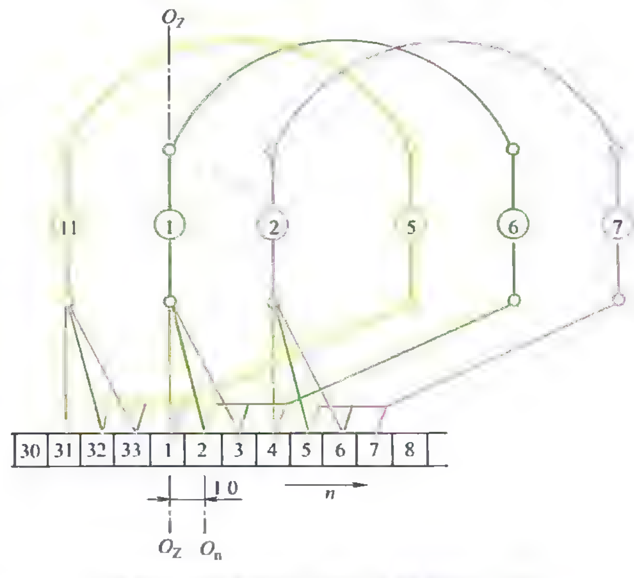


图4-29　11×3槽（$y=5$）专用型B-1类（右借1.0接线）单相电枢绕组

4.3.7　11×3 槽（y=5）专用型 B-2 类（左借 1.0 接线）单相电枢（左行）绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=11$　　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=33$　　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子槽中心线与换向片中心线重合，属 B 类转子结构。但本绕组与前面各例不同的是它以跨距槽作为借偏基准，故改设跨距槽为 1 号槽；而且本绕组与前面各例最大不同还在于线圈的电流绕行方向不同，如图 4-30 中槽 1 线圈 1 号元件（黄）接片 1，其尾端经槽 6 引出再接到片 2；2 号元件（绿）从片 2 绕行后经槽 6 再接到片 3；3 号元件（红）从片 3 绕行后再接到片 4…。由此可见其绕行是从右至左，故称“左行绕组”。所以，无论是槽编号或换向片编号、都是从右至左的。

但绕组的接线方法与前面是相同的，如槽 1 线圈的首、尾分别接 1、2、3 片；2、3、4 片。尾随的线圈接线类推，最后一个元件从槽 5 引出，回接到换向片 1（图中红色线端）。不同的只是方向相反而已。

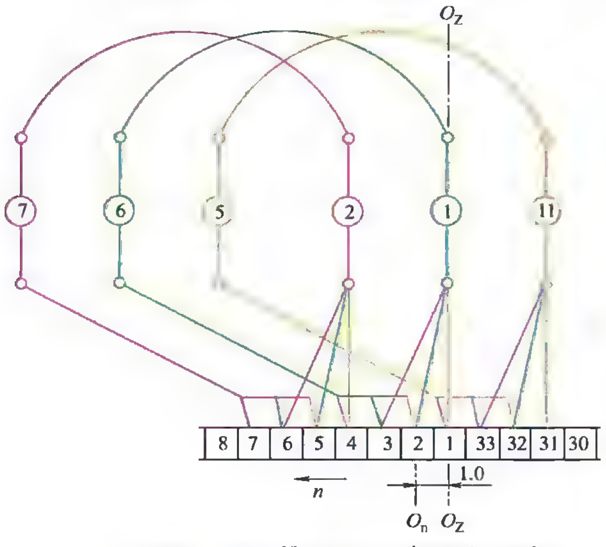


图 4-30　11×3 槽（y=5）专用型 B-2 类（左借 1.0 接线）单相电枢（左行）绕组

（3）绕组主要应用举例

本例绕组主要应用于部分 ϕ71mm 冲片的电动工具电动机。如单相电动湿式磨光机 Z1M-100 等都可能采用本绕组。

（4）绕组端面布接线图

11×3 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-30 所示。

4.3.8　12×2 槽（$y=5$）专用型 B-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=12$　　　每槽元件　$n=2$

电机极数　$2p=2$　　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=24$　　　换向节距　$y_K=1—2$

(2) 绕组结构及嵌接特点

本例转子为 B 类结构，即始槽中心线与换向片中心线重合。线圈以始槽为基准借偏，因本绕组每槽占有换向片数 $n=2$，其中心线在片 1 与 2 之间的云母片，故属始槽基准向右借偏半片接线。与 1 号槽中心线重合的换向片编为 1 号片，其余片号从左到右顺序编写。1 号槽 2 元件接入 1、2 号换向片，其尾端从跨距槽 6 引出并对应分别接到 2、3 号换向片；2 号槽 2 元件头端尾随接入 3、4，尾端跨节距至槽 7 引出后接入换向片 4、5。其余接线循此进行，到最后一槽最后一个元件的尾端从槽 5 引出，回接到换向器起始的 1 号片，使绕行形成闭合回路，则接线完成。如果最后一个元件尾端不能回到 1 号换向片，说明前面接线有重复，即有某片接入 3 个线头；若最后一线尾多出，即 1 号片已接入两个线头，若将其接到 1 号片则此换向片就有 3 个线头，这说明前面的换向片有漏接，即某片只接了一个线头。这时必须重新查对重接，否则电动机无法转起来。

(3) 绕组主要应用举例

本绕组应用于便携式电动工具电动机，如 J1Z-10（24V、36V）、J1Z-13（36V）等安全低电压手电钻。

(4) 绕组端面布接线图

12×2 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-31 所示。

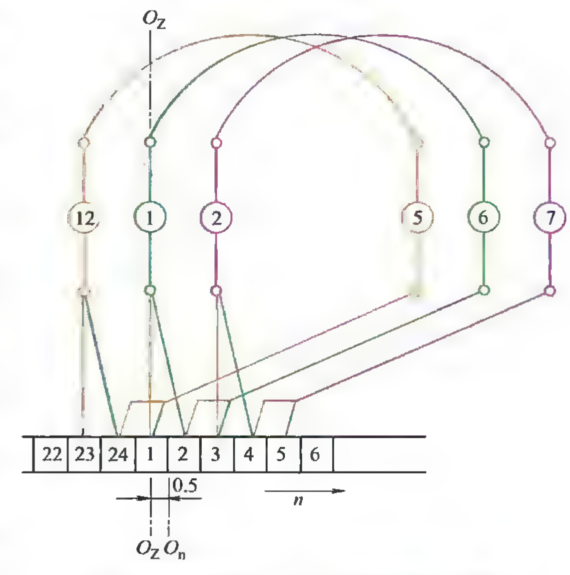


图 4-31　12×2 槽（$y=5$）专用型 B-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

4.3.9　12×2 槽（y=5）专用型 B-1 类（左借 0.5 接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=12$　　　每槽元件　$n=2$

电机极数　$2p=2$　　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=24$　　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本绕组基准槽中心线与换向片中心线重合，属 B 类转子结构。线圈以始槽为基准借偏，而与基准线重合的换向片编号为 2，其余片号由左至右顺次编写。1、2 槽之间的云母片是 n 片中心线，故本绕组是向左借偏半片接线，即槽 1 元件分别接到片 1、2 上，线圈跨至槽 6 后引出的元件尾端则分别对应接于换向片 2、3。尾随上一元件，将下一线圈（2—7）头端接到片 3、4，尾端接到片 4、5。其余线圈依此类推接线。最后一只线圈（12—5）头端 2 元件接到片 23、24，尾端接入片 24、1 形成闭合绕行。

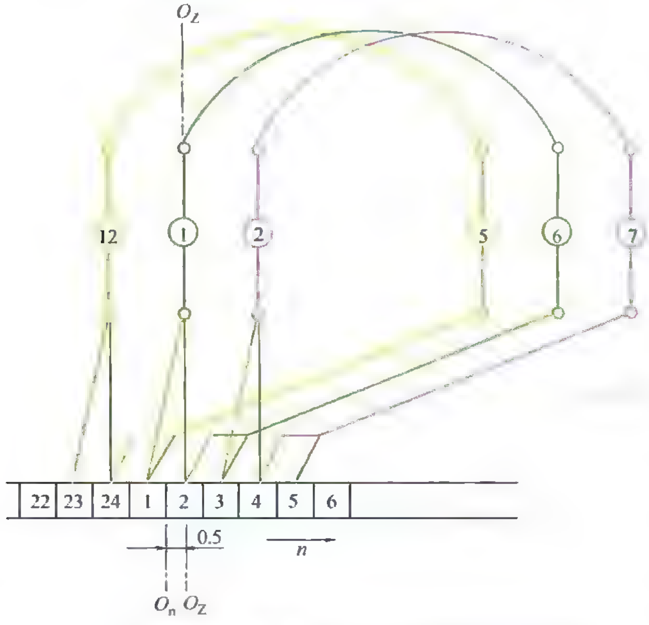


图 4-32　12×2 槽（y=5）专用型 B-1 类（左借 0.5 接线）单相电枢绕组

绕组采用 2 根导线并绕，嵌绕方法及嵌绕次序参考图 4-7。

（3）绕组主要应用举例

本例串励电动机电枢绕组主要应用于交直流两用串励电动机。应用实例如火车用顶扇、船用壁扇等。

（4）绕组端面布接线图

12×2 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-32 所示。

4.3.10　12×3槽（$y=5$）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=12$　　每槽元件　$n=3$

电机极数　$2p=2$　　实槽节距　$y=1—6$

换向片数　$K=36$　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子1号（始）槽中心线与换向器云母片中心线重合，属A类结构。线圈接线是以始槽为基准借偏；转子每槽元件数 $n=3$，n 片中心线在2号换向片，而始槽中心线两侧换向片编号为1、2，则线圈是向右偏移半片接线，即使1号元件偏左半片接入换向器。接线时将始槽3根元件线头分别接到换向片1、2、3；其线圈跨至槽6后的3根尾线分别对应引接到换向片2、3、4。第2只线圈（2—7）头端3元件接入换向片4、5、6；尾端接到片5、6、7。其余类推。最后一线圈（12—5）的头端接入片34、35、36；尾端接片35、36、1，即最后一元件尾端必须回到起始换向片1。否则接线错误。

嵌线采用3根导线并绕，绕行方法与次序参考图4-7。

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要应用于国产电钻，如J1Z-10（110V、220V）、J1Z-13（110V、220V、240V）等。

（4）绕组端面布接线图

12×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-33所示。

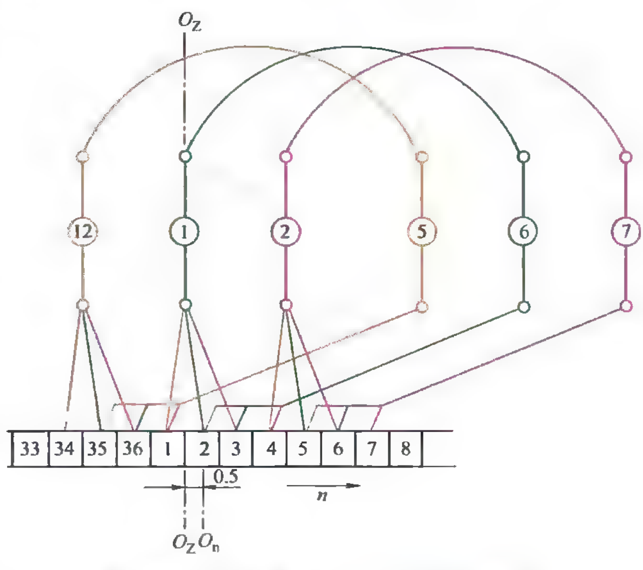


图4-33　12×3槽（$y=5$）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

4.3.11　15×2 槽（y=6）专用型 B-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=15$　　　　每槽元件　$n=2$

电机极数　$2p=2$　　　　实槽节距　$y=1—7$

换向片数　$K=30$　　　　换向节距　$y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

该转子是 B 类结构，槽中心线与换向片中心线重合。1 号片在槽中心线上，其余换向片编号由左至右顺序编写。线圈以始槽为基准借偏，每槽片数 $n=2$，n 片中心在 1、2 号片之间的云母片，故线圈是偏右半片接线，即 1 号元件正对始槽接入。接线时将始槽线圈 2 根线头分别接到换向器 1、2 号片，其尾线从跨距槽 7 引出，并分别对应接入换向片 2、3。2 号槽线圈（2—8）头端接入片 3、4，尾端由槽 8 引出并接入片 4、5。其余线圈类此尾随接线。最后一只线圈（15—6）的头端接到换向片 29、30；尾端跨节距后从槽 6 引出，接到片 30 并回到始接 1 号片，使绕行构成闭合回路。电枢线圈嵌线用 2 根导线并行手绕，嵌绕方法及绕行次序参考图 4-9。

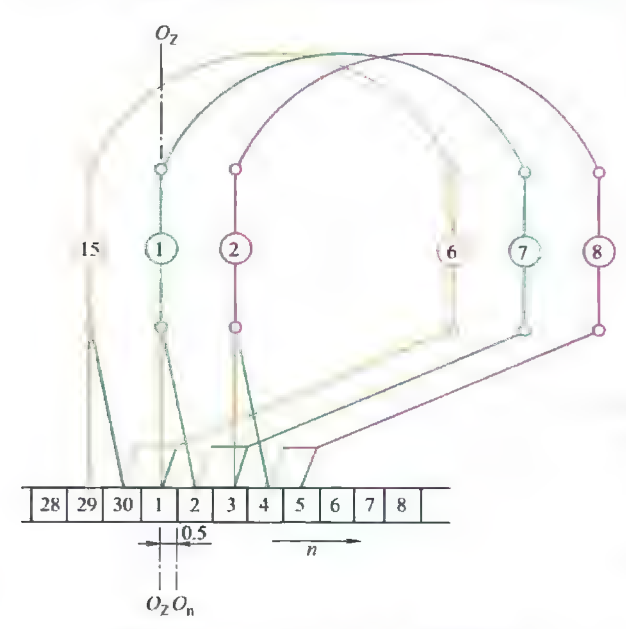


图 4-34　15×2 槽（y=6）专用型 B-1 类（右借 0.5 接线）单相电枢绕组

（3）绕组主要应用举例

本例绕组应用于较大的手提电钻，应用实例有 J1Z-19（220V），J1Z-23（220V）等电钻用单相串励电枢绕组。

（4）绕组端面布接线图

15×2 槽电枢端面（局部）布接线简化图如图 4-34 所示。

4.3.12 15×3槽（y=6）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=15$　　每槽元件 $n=3$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—7$

换向片数 $K=45$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例绕组的槽中心线与换向器云母片中心重合，属A类结构的转子。始槽中心线两侧换向片编为1、2号，其余编号如图从左至右依次编写。因每槽元件数 $n=3$，n 片中心线在2号片，即线圈以始槽为基准向右借偏半片接入换向器。接线时槽1线圈头端3根引线分别接到1、2、3片，线圈跨入槽7后，将尾端3根引线分别对应接入换向片2、3、4。2号槽线圈（2—8）的头端接到片4、5、6，尾端跨节距后从槽8引出，接入换向片5、6、7。随后各线圈依此类推接线。最后一线圈（15—6）的头端接到片43、44、45，尾端跨节距后接入片44、45、1，形成闭合绕行。此绕组采用3根导线并绕，嵌绕方法及嵌绕顺序如图4-9所示。

（3）绕组主要应用举例

本例电枢绕组主要用于部分厂家的大型手电钻，如J1Z-19（220V）、J1Z-23（220V）等。

（4）绕组端面布接线图

15×3槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-35所示。

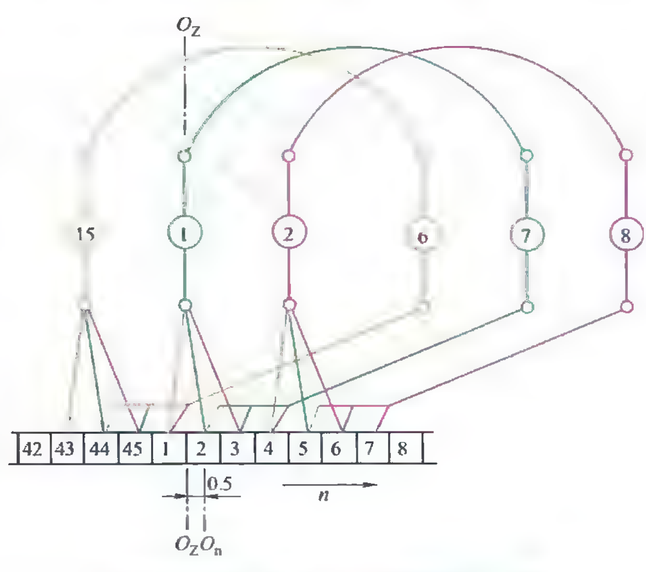


图4-35　15×3槽（y=6）专用型A-1类（右借0.5接线）单相电枢绕组

4.3.13 19×2槽（y=9）专用型B-1类（右借1.5接线）单相电枢绕组

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=19$　　每槽元件 $n=2$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=1—10$

换向片数 $K=38$　　换向节距 $y_K=1—2$

（2）绕组结构及嵌接特点

本例转子槽中心线与换向片中心线重合，属B类结构。始槽中心线落在38号换向片上，而n片中心线在换向片1、2之间的云母片上，且相距槽中心线1片半。也就是说本例线圈以始槽为基准向右借偏1片半。接线时将始槽线头分别接入换向片1、2，线圈跨距至10槽后，两根尾线则引接到换向片2、3。第2只线圈尾随接入3、4片，其尾则跨节距后由槽11引出，接到换向片4、5。余类推接入。最后一只线圈（19—9）头端接到片37、38，尾端接入片38、1，即回到始接换向片。

由于此绕组用于容量较大的电动工具，而转子直径较大，容易产生重力不平衡而振动，故嵌线要求尽量均匀分布，所以宜用V形对绕法嵌绕。嵌线是2根并绕，嵌入次序可参考图4-12。

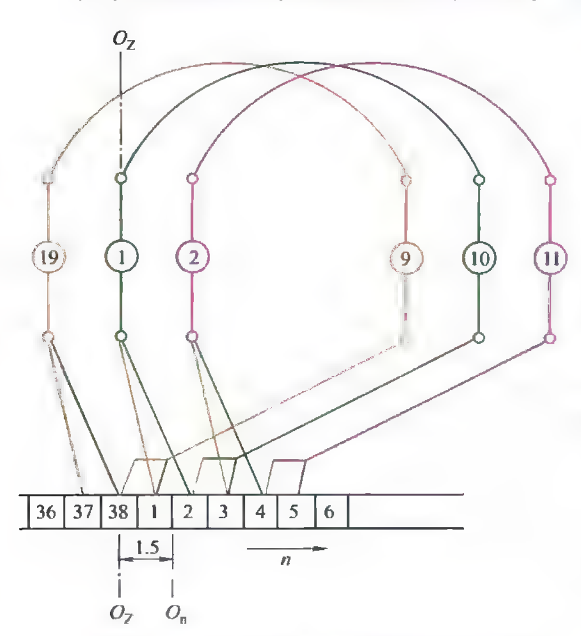


图4-36　19×2槽（y=9）专用型B-1类（右借1.5接线）单相电枢绕组

（3）绕组主要应用举例

本绕组主要应用于φ90mm冲片的电动工具，如某些厂家生产的J1Z-23/32双速电钻、S1S2-150手提砂轮机、S1MJ2-180角向磨光机等。

（4）绕组端面布接线图

19×2槽电枢端面（局部）布接线简化图如图4-36所示。

第 5 章

直流电机转子电枢绕组

直流电机绕组包括定子绕组和转子（电枢）绕组。定子常制成结构简单的凸极并套入集中式励磁绕组；转子则是嵌绕在槽内的电枢绕组，其结构型式较多且复杂，有单叠绕组、复叠绕组、单波绕组（包括死波绕组)、复波绕组以及蛙式（混合）绕组等。就目前国产电机中，除复叠和复波绕组没有产品实例外，其余绕组型式均有应用。为了形象地表现电枢绕组的布线情况，笔者创用了“潘氏画法”，并用彩色线条绘制成电枢（换向器）端面模拟图。这种画法不同于以往画法，过去，为便于说明绕组结构原理而以单元槽（虚槽）为单位画出平面展开图或端面图，这样就使图纸与转子绕组实物相距甚远。因此，初学的修理者大都感到很难理解，从而认为直流电机很难修理。然而实践发现，模拟端面画法的全图虽能全面地反映绕组的布接线，但其线条繁乱，使用起来反觉不便。而其实，直流电机重绕接线只要把1号槽线圈按记号正确接入换向片，则随后的2号、3号……号线圈便可尾随接入，到最后一线圈最后一元件的尾端回接到1号换向片，则接线完成。所以，本书改用端面画法的局部图，只画1号、2号槽线圈和最后一只线圈的布接线如各例图。这样，只要1号线圈布接线无误，则其余线圈便可依此接线。这种简化（局部）图看起来清晰，拆线时画图记录也容易。

此外，绕组图中笔者首创引入重要参数“A”，它是1号换向片到“*”记号片的距离。如从1号片开始（1号片不计）数到“*”号片的片数即是 A 值，而 A 值能使修理的原始记录上升为永久性修理资料。如果接线之前，核查实际的 A 值与记录值相符，则修理就成功一半了。为了便于识图，特作如下说明。

① 图题说明：图例以实槽数、极数为序列编排，并以实、虚槽数组合表示总元件。例如，25×3槽4极（$y=6$)，其中25是转子实槽数($Z=25$)；3是每槽元件数（$u=3$)，也是每线圈所含元件数；25×3则是电枢绕组总元件数（即虚槽数 $Z_0=S=K=75$)；$y=6$ 即实槽节距。

② 简化图下方的方格条表示换向器，每格代表1换向片，两片之间的间隔墨线代表绝缘云母片，一般如单叠式、单波式、死波式绕组，每片必须接入两个元件线端。

③ 图例以实槽为单位绘制，而直流电枢均属双层绕组。图例大圆及数字代表转子实槽及槽号，其上下端小圆之间的粗直线代表线圈在槽中的有效边，左侧为下层，右侧为上层，上面弧线是线圈端部；下部从

线圈引出各元件端用黄、绿、红、黑短线区分，并按规定与相应换向片相接，而且相同颜色表示同一元件。

④ 直流电枢的嵌线：直流转子有半闭口槽和（半）开口槽。前者适用于软包线圈，嵌线方法与普通双层的交流电机相同；开口槽和半开口槽则用扁铜线拉制的硬线圈，其嵌线程序基本相同，但操作工艺有别。

⑤ 电枢的接线：如果是硬线圈，其下层元件必须接在换向片沟的下层；同理上层接上层。因此，接线工艺通常是把下层元件全部压入换向片沟后再把上层元件接入。这在各图例的接线叙述在程序上与此有矛盾。造成这种不同的是图例的说明着重于接线原理。

直线电枢绕组型式虽多，但复叠、复波查无系列，而蛙式仅用于极大容量电机；所以本书只收入中小型电机中最常用的单叠绕组、单波绕组机和死波绕组共计 35 例。

5.1 直流电机单叠绕组端面（局部）布接线图

单叠绕组是直流电机应用最多的电枢绕组型式之一。绕组并联支路数 $a=p$；每只元件引线分别接到相邻两换向片上。

① 绕组主要参数

实槽节距　$y=Z/2p\pm e=$ 整数（槽）

换向节距　$y_K=1$（片）

每槽元件　$u=K/Z$

② 本节单叠绕组采用端面（局部）的简化画法，如图 5-1 所示。图例的结构含义参考本章前述。

③ 每槽有效边由 u 个元件组合，同一线圈接入换向器的元件以不同颜色标示，如元件 1 黄色；元件 2 绿色；元件 3 红色；元件 4 黑色；元件 5 虚线画出。

④ 重绕修理拆除旧绕组时，必须在转子上做好 1 号（槽）线圈（如图 5-1 中绿色线圈）的槽位和各元件接入换向器的位置，并画出简化图和记录，同时要记准“A”值，即从 1 号换向片中心 O_1 起数到“*”号（与 1 号槽中心线 O_Z 重合的换向片）的片数，如果“*”号落在云母中心，则加半片，并作记录说明。

5.1.1 13×3 槽 2 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=13$　　每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=6$

换向片数 $K=39$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

绕组采用双层交叠法嵌线，吊边数为 6。嵌线顺序见表 5-1。

表 5-1　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	13	12	11	10	9	8		7		6		5		4		3	
	上层								1		13		12		11		10		9
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26										
槽号	下层	2																	
	上层		8	7	6	5	4	3	2										

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用偏移引接绘制。电机极距 $\tau=6.5$ 槽，绕组槽节距 $y=6$，较极距缩短半槽，以利于节省线材，属短距绕组线圈。绕组每槽元件数为 3，为了避免引接线交叉重叠，换向片采用右行连接，槽 1 上层边的 3 元件分别引接到换向片 1、2、3；线圈跨入槽 7 的下层边 3 根引线则对应接到换向片 2、3、4 线槽。同理，第 2 只线圈嵌入槽 2—8，其上层边引线沿顺序接入换向片 4、5、6，其余类推。此绕组主要用于微小功率的电机电枢，应用实例有 ZYS-1A、ZYS-3A、ZYS-100A 等直流测速发电机。

(4) 绕组端面局部布接线图

如图 5-1 所示。

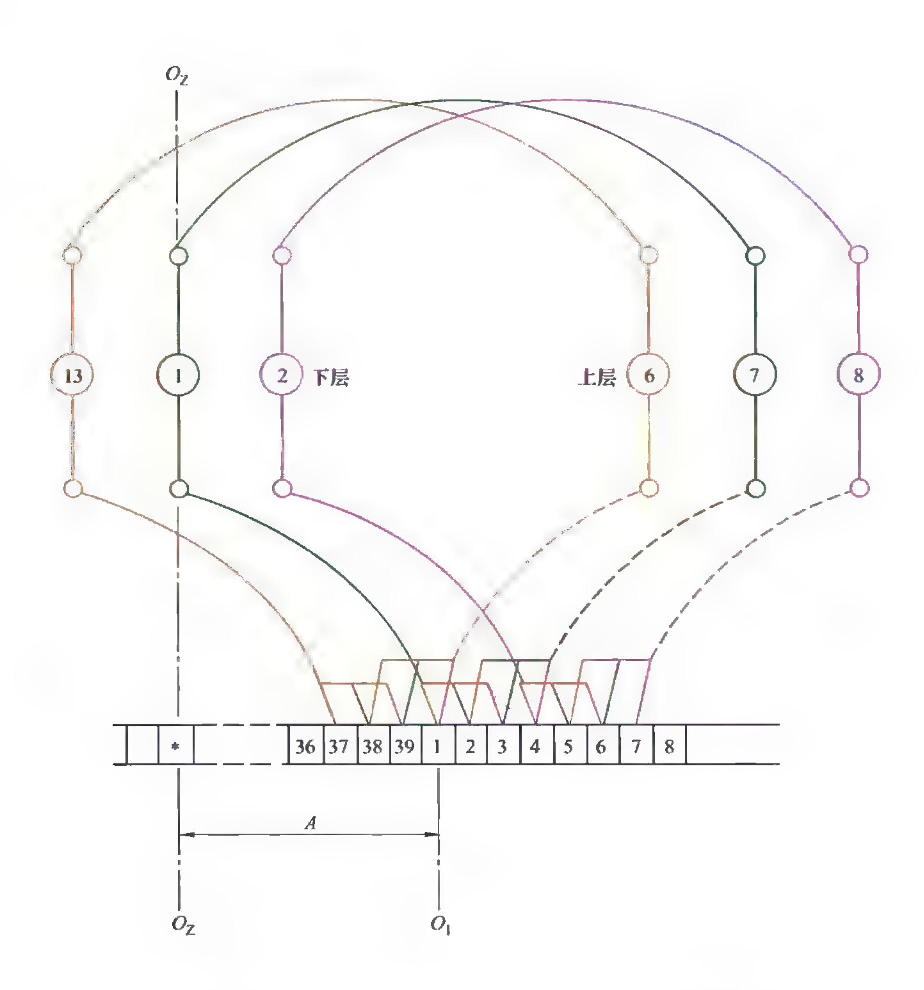


图 5-1　13×3 槽 2 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.2 14×3 槽 2 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=14$　　电机极数 $2p=2$

每槽元件 $u=3$　　实槽节距 $y=6$

换向片数 $K=42$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠嵌线，吊边数为 6。嵌线顺序见表 5-2。

表 5-2　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	14	13	12	11	10	9		8		7		6		5		4	
	上层								1		14		13		12		11		10
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28								
槽号	下层	3		2															
	上层		9		8	7	6	5	4	3	2								

(3) 接线要点与应用举例

图 5-2 中换向片的“*”点是拆线时作的记号，它是线圈 1 号槽中心线正对的换向片；接线前必须查实 1 号片的 A 值相符后开始接线。本例 $u=3$，1 号槽线圈 3 个元件接入换向片 1、2、3；尾端跨节距后由槽 7 引出接到片 2、3、4。下一线圈（2—8）从槽 2 引出接入片 4、5、6；尾端接入片 5、6、7，余类推。当最后的线圈（14—6）头端接片 40、41、42；尾端接片 41、42、1。即最后一元件的尾端回到 1 号换向片构成闭合。

本例采用缩短 1 槽的线圈节距，适用于耐受冲击振动的高启动转矩的直流电机。主要应用实例有 ZZD-0.4 等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-2 所示。

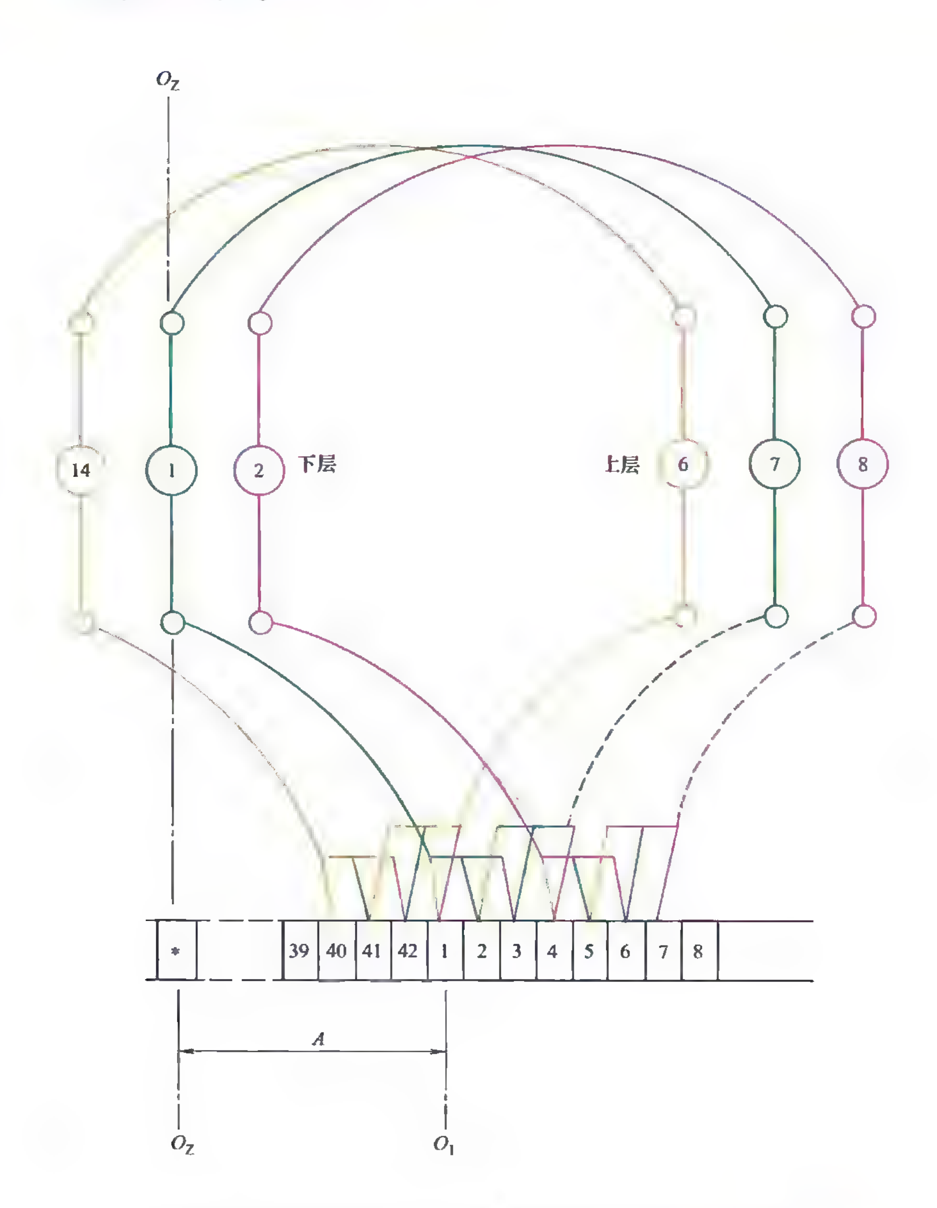


图 5-2　14×3 槽 2 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.3　14×4 槽 2 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单叠布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=14$　　电机极数　$2p=2$

每槽元件　$u=4$　　实槽节距　$y=7$

换向片数　$K=56$　　换向节距　$y_K=1$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-3。

表 5-3　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	14	13	12	11	10	9	8		7		6		5		4		3
	上层									1		14		13		12		11	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28								
槽号	下层		2																
	上层	10		9	8	7	6	5	4	3	2								

（3）接线要点与应用举例

图 5-3 中换向片的记号“*”是线圈 1 号槽正对的换向片，它到 1 号换向片的距离（用换向片数计）是 A。接线前必须核对其值无异。而本例 $u=4$，1 号槽线圈 4 元件端头接入换向片 1、2、3、4；2 号槽线圈相应尾随接入片 5、6、7、8；1、2 号线圈尾跨节距后分别接入片 2、3、4、5 和 6、7、8、9，余类推。最后一只线圈（14—7）的最后一元件必须回接到 1 号换向片、构成闭合。否则说明前面接线有错。此绕组实际应用如 Z2-11、Z2-12，Z3-11、Z3-12 等一般用途直流电机；还有 Z2-02-MD 磨床用直流电动机；ZZD-5 高启动转矩直流电动机等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-3 所示。

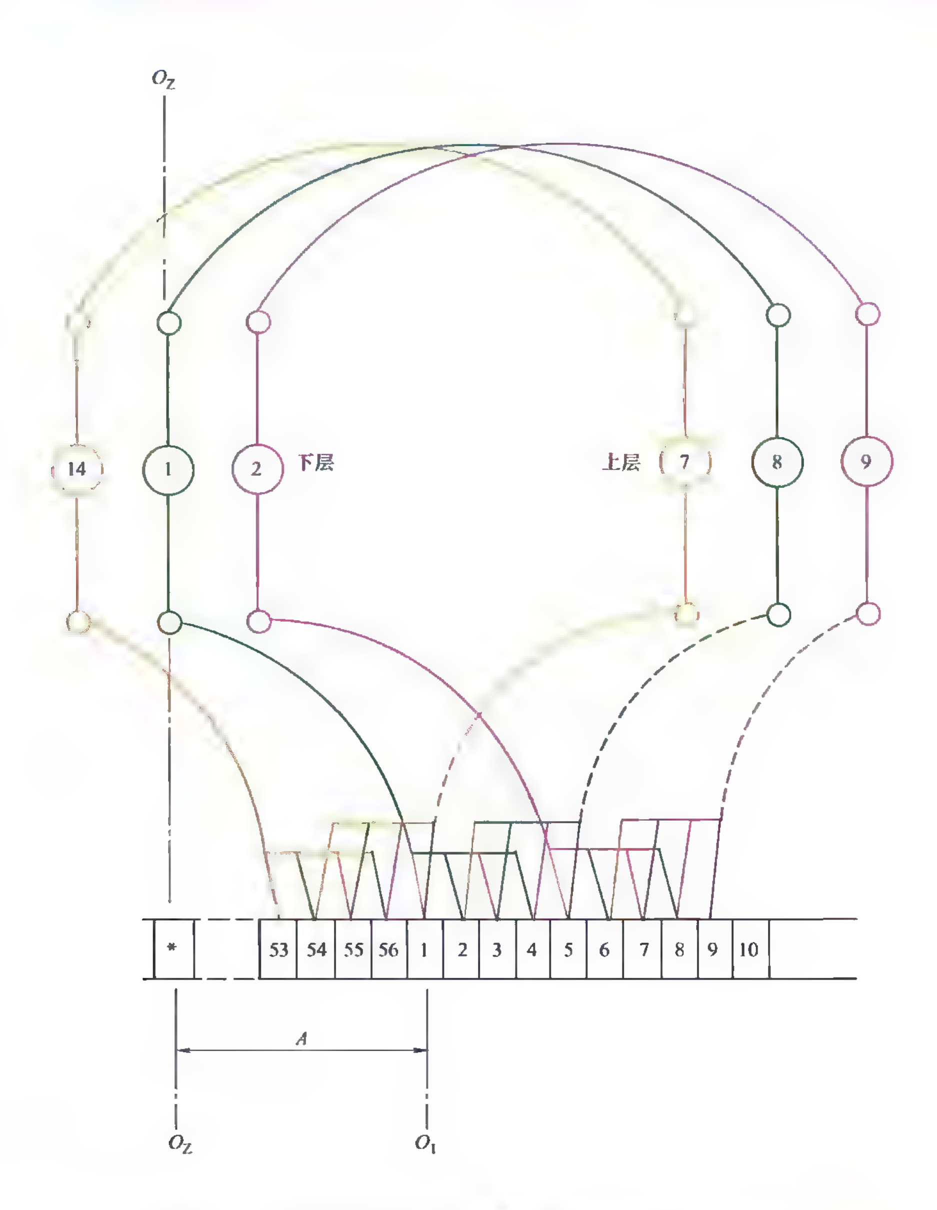


图 5-3　14×4 槽 2 极（y－7）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.4 15×2 槽 2 极（y=7）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=15$　　每槽元件 $u=2$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=7$

换向片数 $K=30$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-4。

表 5-4　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	15	14	13	12	11	10	9		8		7		6		5		4
	上层									1		15		14		13		12	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
槽号	下层		3		2														
	上层	11		10		9	8	7	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

上下层线圈有效边嵌满入槽并打入槽楔后就可进行接线，即把各槽线圈元件端接入换向器上，接线前必须找出 1 号槽及 1、2 号换向片，并核查 A 片无误。这时将 1 号槽元件接到 1、2 号换向片，2 号槽元件接入片 3、4…，最后槽 15 元件接到 29、30 片；下层线端全部接入换向器后再将 1 号线圈尾端从 8 号槽引出，接到换向片 2、3 的上层槽（指换向片槽）。同理，尾随接入 4、5；5、6…，直至完成。此绕组主用于低压电机，应用实例有 ZF28-130B、ZF-29B、ZF-29C、ZF33B-130B 等老系列和 F-29B、F-29C、F28-130B、F33B-130B 等新系列的汽车、拖拉机用直流发电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-4 所示。

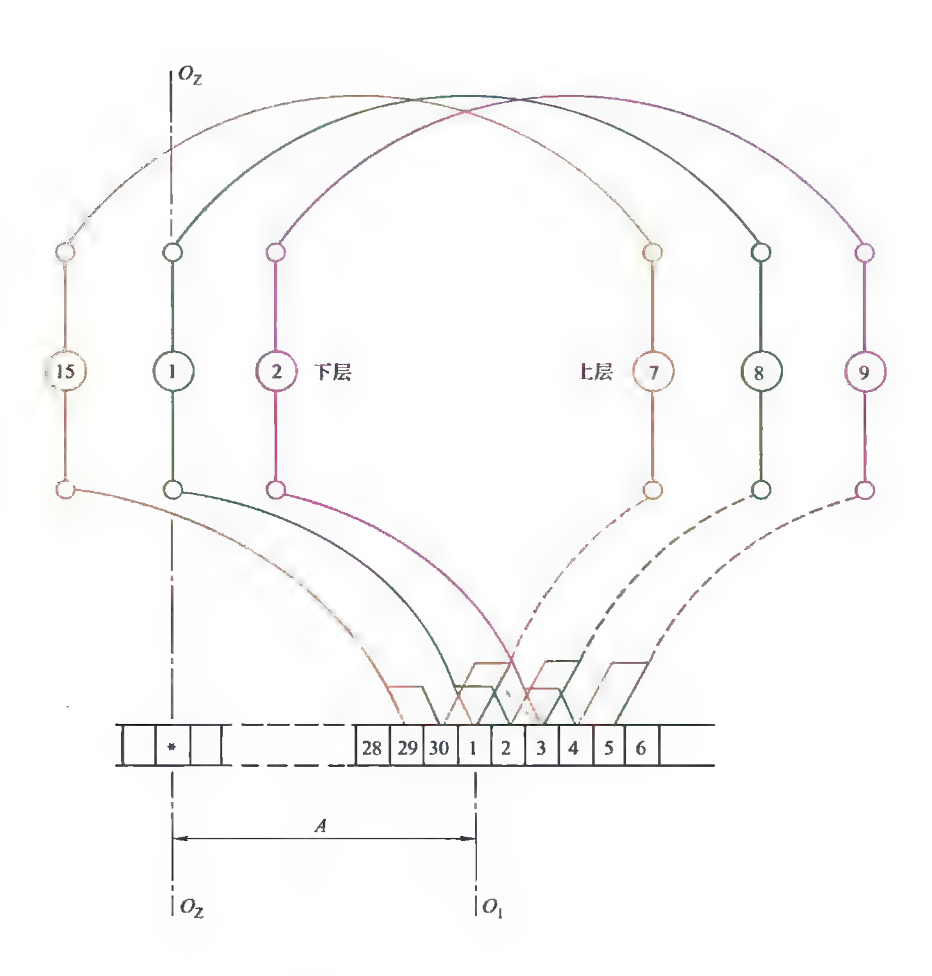


图 5-4　15×2 槽 2 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.5 18×4槽2极（$y=9$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=18$　　每槽元件 $u=4$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=9$

换向片数 $K=72$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为9。嵌线顺序见表5-5。

表5-5　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	18	17	16	15	14	13	12	11	10		9		8		7		6
	上层											1		18		17		16	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		5		4		3		2										
	上层	15		14		13		12		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组槽节距等于极距，属整距绕组。每槽元件数为4，为避免引接线在换向器端交叉重叠，绕组元件采用右行连接；线圈1—10下层边的4元件分别接入换向片1、2、3、4；槽10上层边则分别将各元件对应接入2、3、4、5片。其余线圈接线类推。此绕组主要用于一般用途系列直流电动机，应用实例有Z2-21、Z2-22、Z2-31、Z2-32、Z3-21、Z3-22、Z3-31、Z3-32、Z3-33等直流电动机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-5 所示。

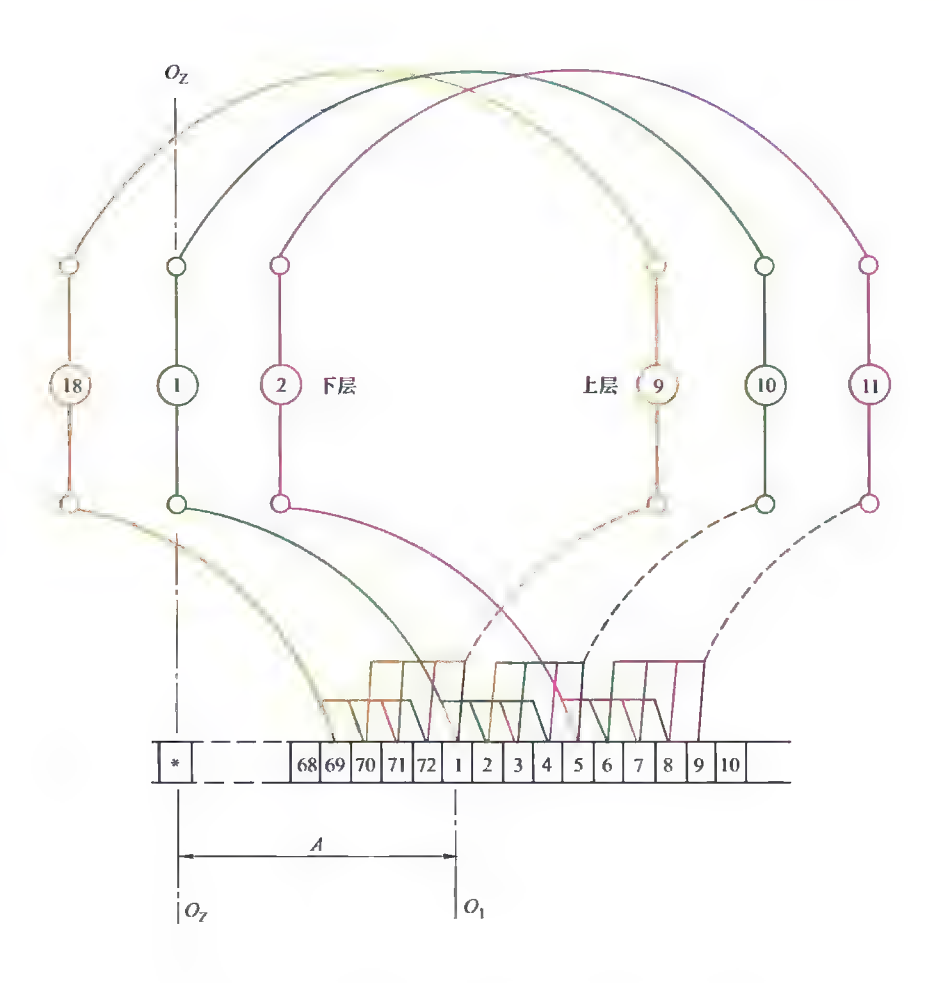


图 5-5　18×4 槽 2 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.6 20×2 槽 2 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单叠布线

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=20$　　每槽元件 $u=2$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=9$

换向片数 $K=40$　　换向节距 $y_K=1$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠嵌线法，吊边数为 9。嵌线顺序见表 5-6。

表 5-6 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	1	20	19	18	17	16	15	14	13	12		11		10		9
	上层											1		20		19	
嵌绕次序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层		8		7		6		5		4		3		2		
	上层	18		17		16		15		14		13		12		11	10
嵌绕次序		33	34	35	36	37	38	39	40								
槽号	下层																
	上层	9	8	7	6	5	4	3	2								

（3）接线要点与应用举例

接线前根据拆线记号和记录找出 1 号槽及其接入换向器的 1、2 号片位置，并按记录的 A 片核查确定 1 号换向片无误后进行。接线从 1 号槽线圈开始，1 号槽下层边 2 元件接到换向片 1、2，线圈跨于槽 10 上层引出线则分别对应接到换向片 2、3。其余线圈接线依此类推。此绕组系低电压专用电机绕组。主要应用实例有 ZF-30、ZF-31、F46-130、F30、F46-130 等汽车及拖拉机用直流发电机等。

(4) 绕组端面(局部)布接线图

如图 5-6 所示。

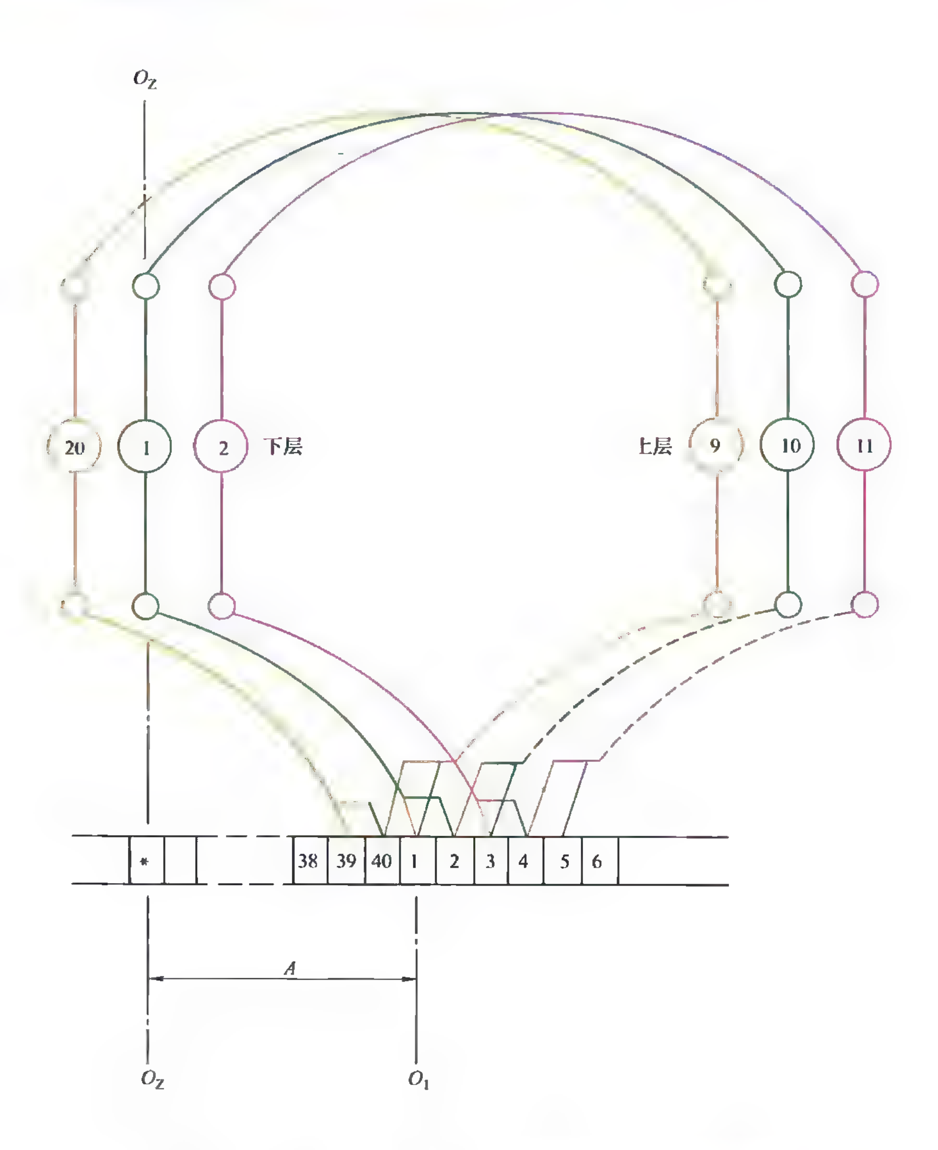


图 5-6　20×2 槽 2 极 ($y=9$) 直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.7 24×4 槽 2 极（$y=12$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=24$　　每槽元件 $u=4$

电机极数 $2p=2$　　实槽节距 $y=12$

换向片数 $K=96$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例用交叠法嵌线，吊边数为 12。嵌线顺序见表 5-7。

表 5-7　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13		12		11	
	上层														1		24		23
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	10		9		8		7		6		5		4		3		2	
	上层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48						
槽号	下层																		
	上层	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

本例采用线圈节距等于绕组极距，是整距绕组。每槽元件数 $u=4$，即线圈 1—13 的下层边 4 根引接线分别接到换向片 1、2、3、4；跨节距后由槽 13 的上层边则分别对应接入换向片 2、3、4、5，如图 5-7 所示。其余线圈也依此原理进行接线，至最后一只线圈的最后一上层元件接入换向片 1，使之形成闭合回路。此绕组应用实例有 Z2-31、Z2-32 等一般用途直流电动，也用于 ZQD-1.9 等电车用直流电动机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图5-7所示。

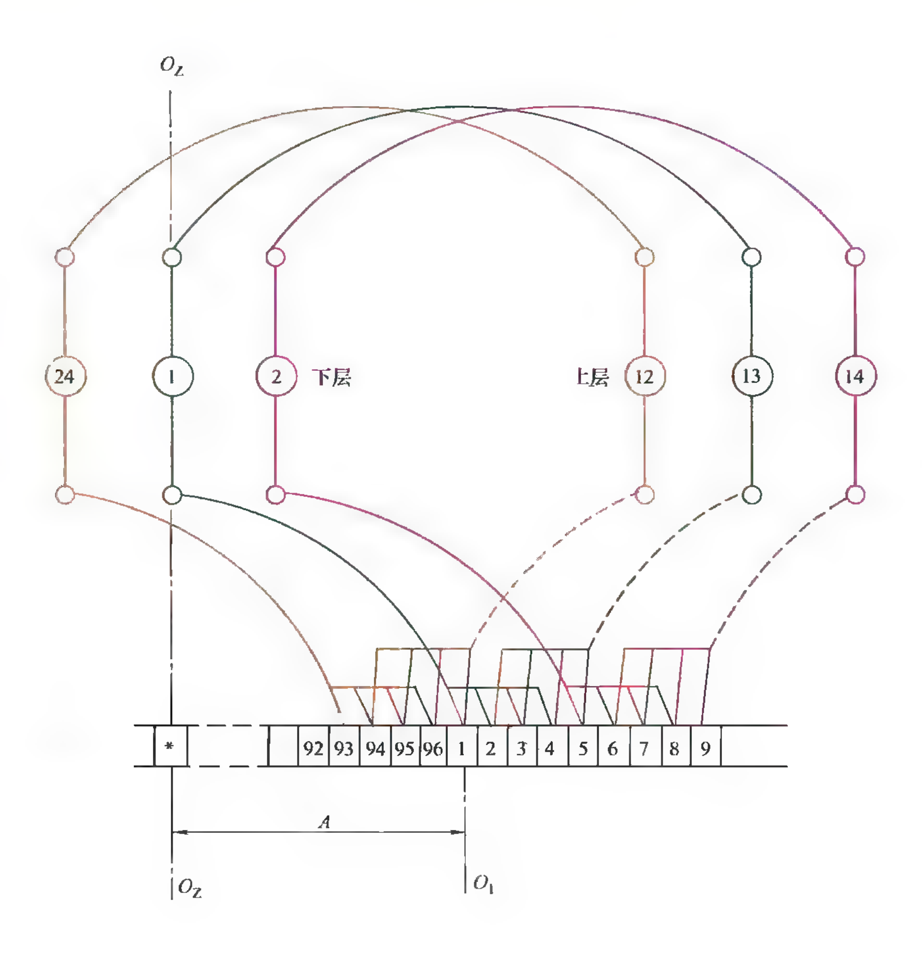


图5-7　24×4槽2极（$y=12$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.8 31×3 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=31$　　电机极数 $2p=4$

每槽元件 $u=3$　　实槽节距 $y=8$

换向片数 $K=93$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-8。

表 5-8　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	31	30	29	28	27	26	25	24		23		22		21		20	
	上层										1		31		30		29		28
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	19		18		17		16		15		14		13		12		11	
	上层		27		26		25		24		23		22		21		20		19
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	10		9		8		7		6		5		4		3		2	
	上层		18		17		16		15		14		13		12		11		10
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62										
槽号	下层																		
	上层	9	8	7	6	5	4	3	2										

(3) 接线要点与应用举例

本例采用长距绕组，右行接线。线圈（1—9）下层边由槽 1 引出 3 个元件分别接入换向片 1、2、3；上层边跨节距后由槽 9 引出，其元件对应接到换向片 2、3、4，其余类推接线。本例主要应用实例 Z2-102 等直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-8 所示。

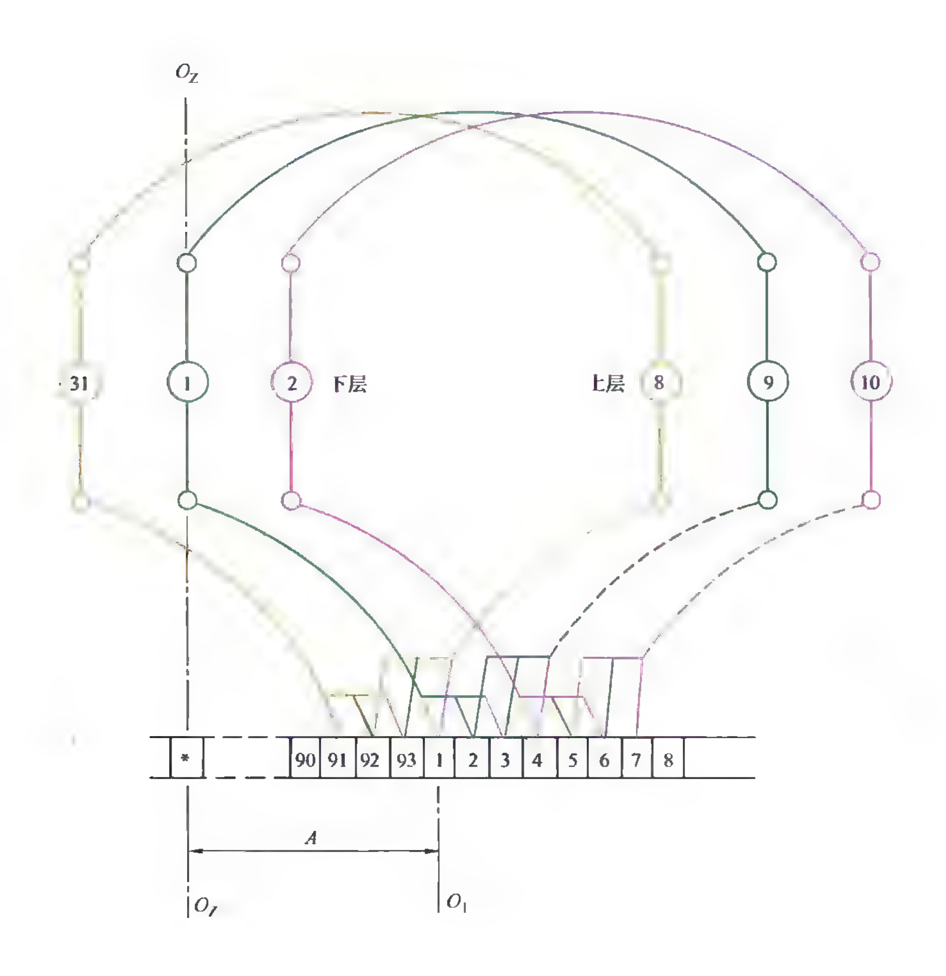


图 5-8　31×3 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.9 32×3 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=32$　　每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=4$　　实槽节距 $y=8$

换向片数 $K=96$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-9。

表 5-9　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	32	31	30	29	28	27	26	25		24		23		22		21	
	上层										1		32		31		30		29
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	20		19		18		17		16		15		14		13		12	
	上层		28		27		26		25		24		23		22		21		20
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	11		10		9		8		7		6		5		4		3	
	上层		19		18		17		16		15		14		13		12		11
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64								
槽号	下层	2																	
	上层		10	9	8	7	6	5	4	3	2								

(3) 接线要点与应用举例

本例为右行接线整距绕组。每个线圈由 3 个元件组成，接线时线圈 (1—9) 的下层元件接入换向片 1、2、3；上层元件由槽 9 引出后接到片 2、3、4；其余线圈循此类推接线。主要应用实例有 ZXQ-55/48、ZXQ-65/48 等蓄电池供电或直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-9 所示。

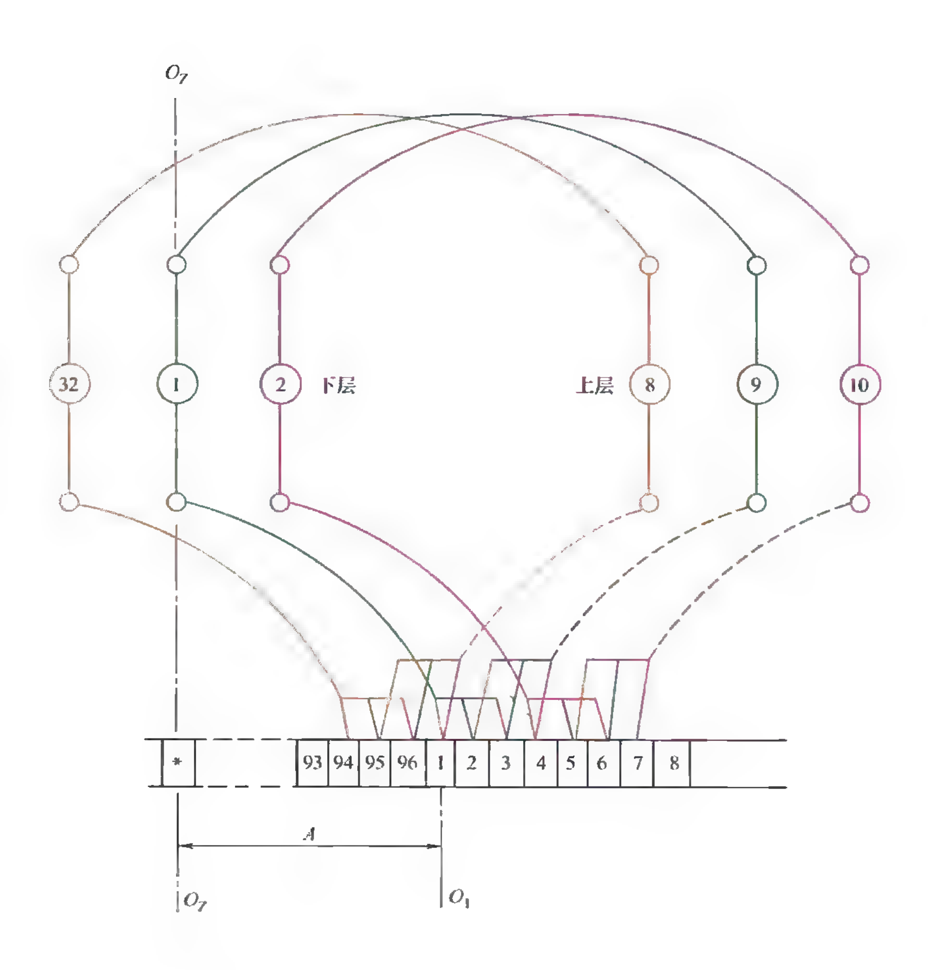


图 5-9　32×3 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.10 34×3槽4极（$y=8$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=34$　　每槽元件　$u=3$

电机极数　$2p=4$　　实槽节距　$y=8$

换向片数　$K=102$　　换向节距　$y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法，嵌线吊边数为8。嵌线顺序见表5-10。

表5-10　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	34	33	32	31	30	29	28	27		26		25		24		23	
	上层										1		34		33		32		31
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	22		21		20		19		18		17		16		15		14	
	上层		30		29		28		27		26		25		24		23		22
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	13		12		11		10		9		8		7		6		5	
	上层		21		20		19		18		17		16		15		14		13
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68				
槽号	下层	1		3		2													
	上层		12		11		10	9	8	7	6	5	4	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例为右行接线长距绕组。1号槽线圈（1—9）下层的3元件分别接换向片1、2、3，从9号槽引出的上层元件则分别对应接到片2、3、4；同理，尾随的线圈各元件也依此接入，但最后线圈（34—8）的上层最后一只元件尾端必须回接到换向片1。主要应用实例有Z2-102直流电动机

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-10 所示。

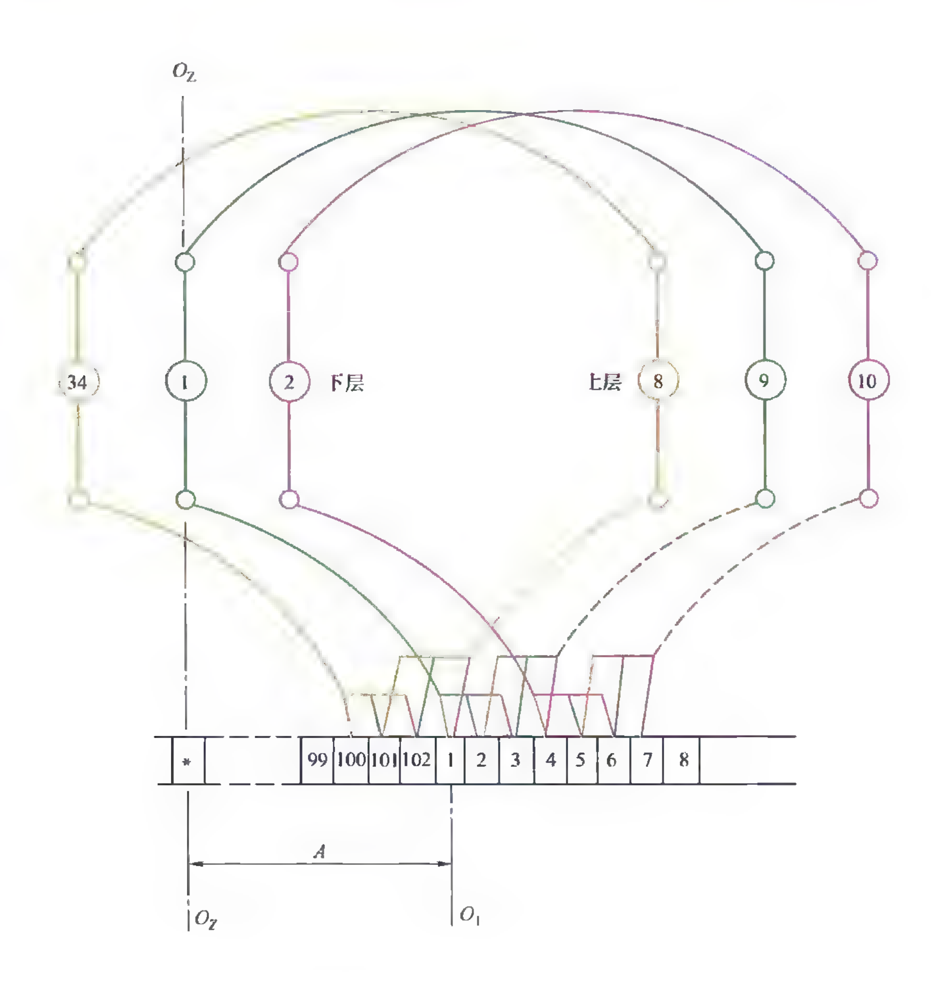


图 5-10　34×3 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.11 36×3 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单叠布线

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=36$ 每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=4$ 实槽节距 $y=9$

换向片数 $K=108$ 换向节距 $y_K=1$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠嵌线，吊边数为 9。嵌线顺序见表 5-11。

表 5-11 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	36	35	34	33	32	31	30	29	28		27		26		25		24
	上层											1		36		35		34	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		23		22		21		20		19		18		17		16		15
	上层	33		32		31		30		29		28		27		26		25	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		14		13		12		11		10		9		8		7		6
	上层	24		23		22		21		20		19		18		17		16	
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
槽号	下层		5		4		3		2										
	上层	15		14		13		12		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2

（3）接线要点与应用举例

本例属右行接线整距绕组。接线前查实 1 号换向片应与 A 值相符。先将线圈（1—10）的下层头端元件接到换向片 1、2、3，尾端从槽 10 上层引出，接到片 2、3、4；其余线圈接线类推。本例应用实例有 Z2-71 及蓄电池供电式直流电机 ZXQ-45/48 等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-11 所示。

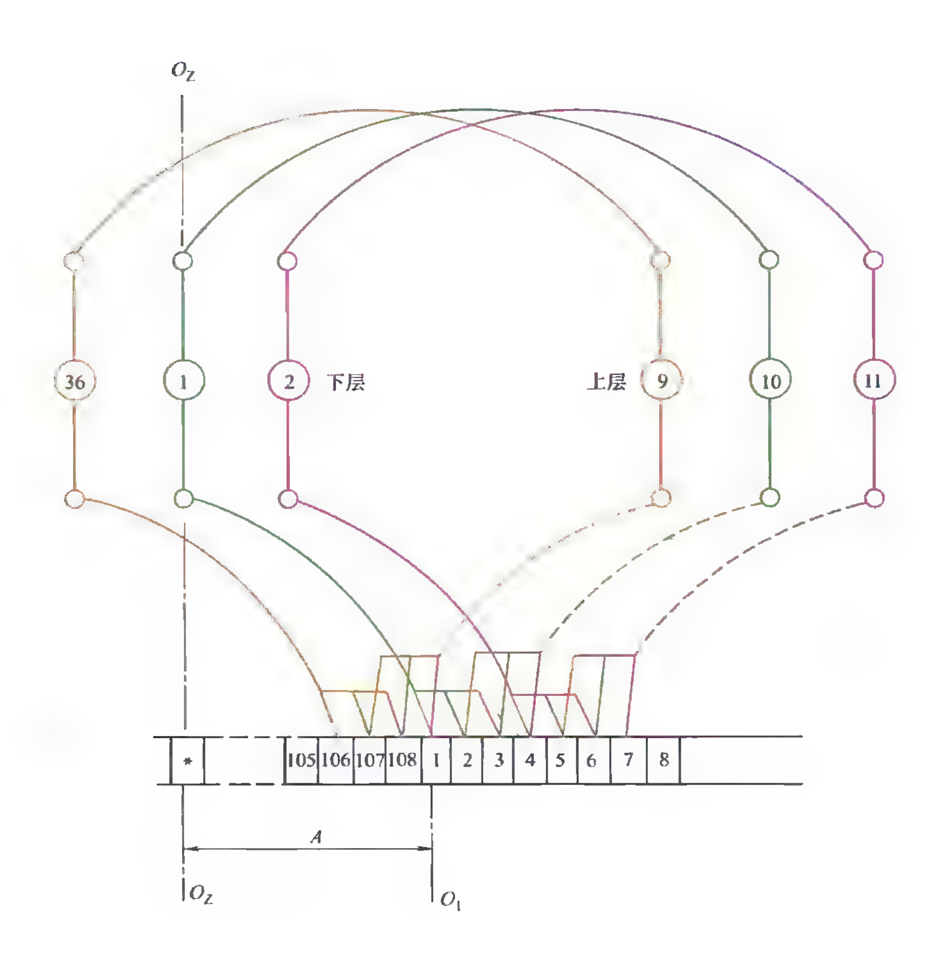


图 5-11　36×3 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.12 42×2槽4极（$y=10$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=42$　　电机极数 $2p=4$

每槽元件 $u=2$　　实槽节距 $y=10$

换向片数 $K=84$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为10。嵌线顺序见表5-12。

表5-12　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33		32		31		30	
	上层												1		42		41		40
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	29		28		27		26		25		24		23		22		21	
	上层		39		38		37		36		35		34		33		32		31
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	20		19		18		17		16		15		14		13		12	
	上层		30		29		28		27		26		25		24		23		22
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
槽号	下层	11		10		9		8		7		6		5		4		3	
	上层		21		20		19		18		17		16		15		14		13
嵌绕次序		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84						
槽号	下层	2																	
	上层		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

找准 1 号换向片及核对 A 值无误后开始接线，是将槽 1 下层 2 元件接入片 1、2；再把槽 11 上层元件接到片 2、3，余者类推。绕组主要应用实例有 Z2-112 直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-12 所示。

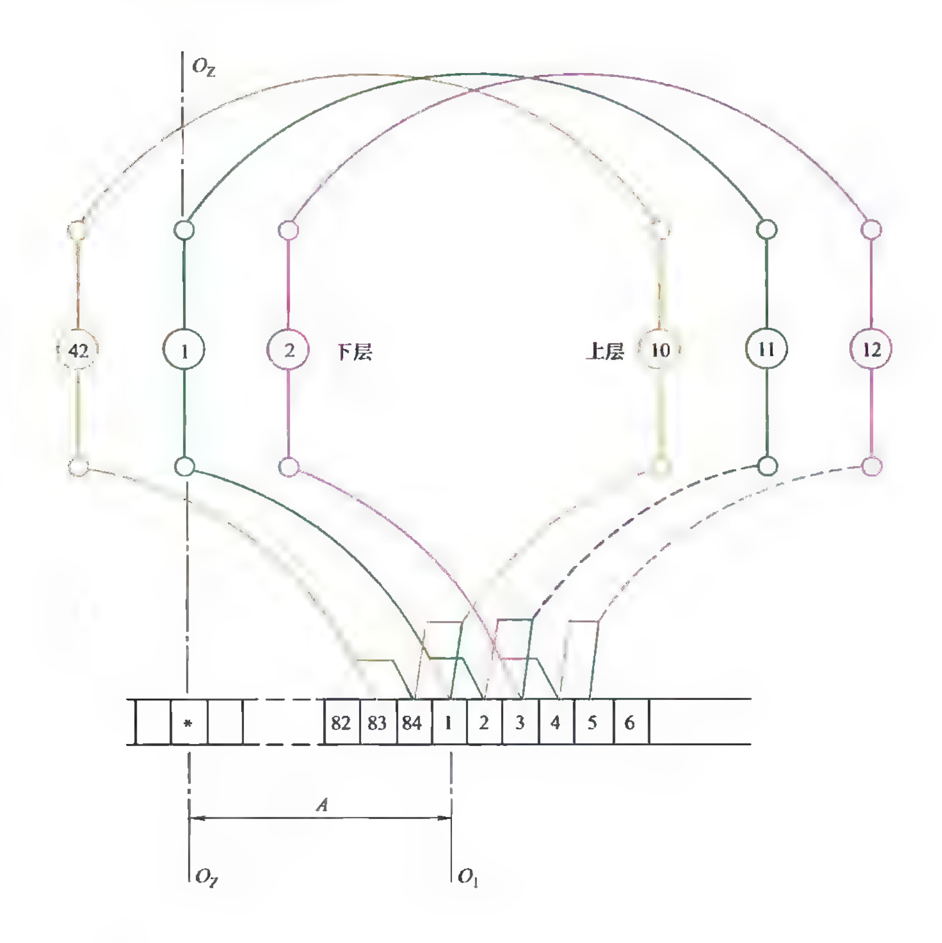


图 5-12　42×2 槽 1 极（y=10）直流电机电枢绕组单叠布线

5.1.13 50×2槽4极（$y=12$）直流电机电枢绕组单叠布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=50$　　电机极数 $2p=4$

每槽元件 $u=2$　　实槽节距 $y=12$

换向片数 $K=100$　　换向节距 $y_K=1$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为12。嵌线顺序见表5-13。

表5-13　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	50	49	48	47	16	45	44	43	12	41	40	39		38		37	
	上层														1		50		49
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	36		35		34		33		32		31		30		29		28	
	上层		18		47		46		45		14		13		12		11		10
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	......		75	76	77	78	79	80	81	82
槽号	下层	27		26		25		24		......		8		7		6		5	
	上层		39		38		37		36	......			20		19		18		17
嵌绕次序		83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
槽号	下层	4		3		2													
	上层		16		15		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2

(3) 接线要点与应用举例

本例是右行接线的短距绕组。若接线始槽及起始换向片核查通过后，先把线圈1—13的头端元件接入换向片1、2，再把其尾端接入片2、3。其余线圈元件尾随接入；最后一只线圈（50—12）的最后一元件尾端必须回接到换向片1。绕组应用实例有AX1-500直流弧焊发电机等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图5-13所示。

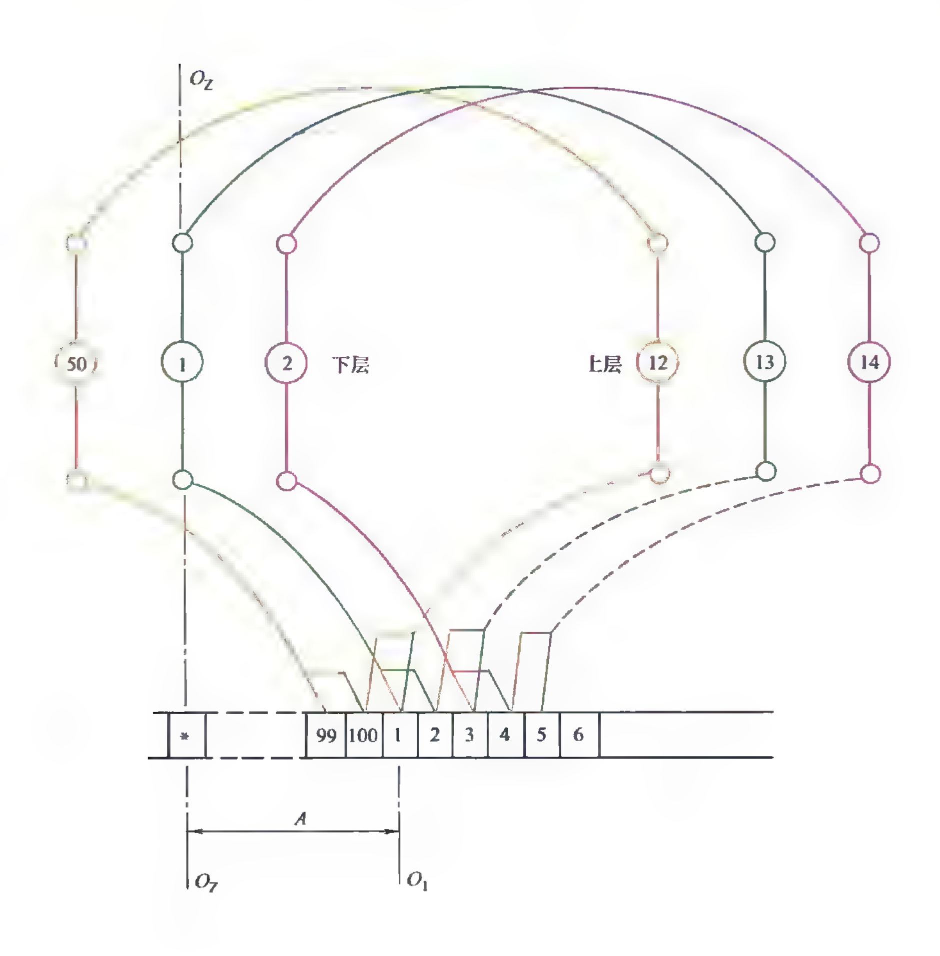


图5-13 50×2槽4极（$y=12$）直流电机电枢绕组单叠布线

5.2 直流电机单波绕组端面（局部）布接线图

直流电枢单波绕组线圈元件的首尾两端的距离为 y_K，大约相距两个极距的换向片上，但元件绕行一周后必然与起始（1 号）换向片相邻，而且最后线圈的最后一元件的尾端仍须回接到 1 号换向片上，使之形成闭合回路。因此，单波绕组无需另设均压线，从而简化了绕组结构而得到较多的应用。

① 绕组参数

实槽节距　$y = Z/2p \pm e =$ 整数(槽)

每槽元件　$u = K/Z$

换向（片）节距　$y_K = (K-1)/p =$ 整数(片)

② 本节单波绕组全部采用端面（局部）的简化画法。图例的结构含义参考本章前述说明。

③ 每槽有效边由 u 个元件组成，但因单波绕组总元件数 $S = K$，且必须是奇数，而 $S = Zu$，故 u 值不能为偶数；所以每槽元件必定为 $u = 1$、3、5 等奇数。同一线圈接入换向器的元件用不同颜色标示，如元件 1 为黄色；元件 2 为绿色；元件 3 为红色；元件 4 用黑色；元件 5 是红色虚线。

④ 重绕修理必须在电机上做好接线标记，即把拟定的第 1 槽线圈及跨距槽位，以及该线圈引接入换向片的实际位置都要标记清楚；之后用拉线找出与 1 号槽中心线重合的换向片或云母片，并作记号“*”；然后数出 A 值，即从“*”到 1 号换向片的（片数）距离，并如图例画图记录保存。

单波绕组不能构成 2 极，最少极数为 4 极，因线圈跨距最长也约占转子圆周的 1/4，采用“潘氏画法”一般都能绘制出清晰的布接线图。不过当槽数多且 u 值过大时，整图压缩到版面后，其线条仍显过密。为此，本节单波绕组也用类于单叠绕组的简化画法。对照单叠绕组简化图可见，单叠绕组换向器每片接入两个线头，其实单波绕组每片也是接入两线头的。单波绕组简化图反映的是局部情况，这是简化图较之整图

的不足，但作为修理所用，只要按此进行下去则可完成单波绕组的布接线就够了。

然而，检验绕组的接线是否正确，则由最后一只线圈判断：如果最后线头多出换向片，说明前面有换向片漏接出错；若接完线头后仍有换向片空出，则说明有换向片重接（注：有换向片接入三个线头）；而正确的接线是线头刚好接满换向片，且最后一元件尾端与1号线圈头端同接于1号换向片，形成闭合回路。

5.2.1　23×1槽4极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=23$　　每槽元件　$u=1$

电机极数　$2p=4$　　实槽节距　$y=6$

换向片数　$K=23$　　换向节距　$y_K=11$

（2）嵌线方法

本例转子绕组采用交叠法嵌线，吊边数为6。嵌线顺序见表5-14。

表5-14　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	23	22	21	20	19	18		17		16		15		14		13	
	上层								1		23		22		21		20		19
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	12		11		10		9		8		7		6		5		4	
	上层		18		17		16		15		14		13		12		11		10
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46								
槽号	下层	3		2															
	上层		9		8	7	6	5	4	3	2								

(3) 接线要点与应用举例

本例是 4 极单波绕组。每线圈只有一元件，故虚槽数与实槽数相等，即 $Z_0 = Z = 23$。线圈左侧为下层边，元件引线与线圈颜色相同。接线时先找出拆线所记 1 号槽及其中心线与之重合的换向片“*”，并以“*”点为 O 向左计数，到“A”片所在换向片应与记号 1 号片重合为正确。

这时，把 1 号线圈下层元件压入换向片 1；2 号线圈下层压入片 2，直至最后的 23 槽下层元件必定接入换向片 23。否则有错接。然后再接线圈上层边元件，先把线圈 1—7 的上层（尾）端接入片 12；线圈 2—8 尾端接片 13，其余线圈接线类推。以下图例接线基本与此相同，由于篇幅所限以下各例只讲接线关系而不再涉及具体操作程序。

此绕组主要应用实例有 F-27、F-35 等汽车、拖拉机用直流发电机。这时根据有关资料查得其 $A = 3$，即从“*”点起，数到第 3 片是 1 号换向片。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-14 所示。

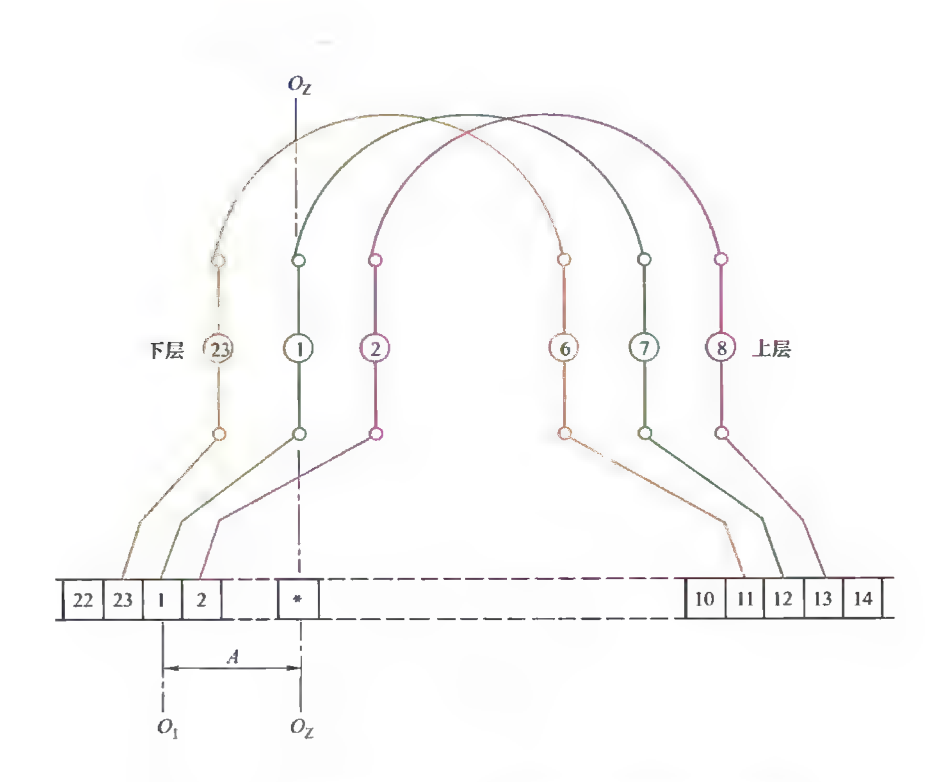


图 5-11 23×1 槽 4 极（y=6）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.2 25×3 槽 4 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=25$　　　　每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=4$　　　　实槽节距 $y=6$

换向片数 $K=75$　　　　换向节距 $y_K=37$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 6。嵌线顺序见表 5-15。

表 5-15 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	25	24	23	22	21	20		19		18		17		16		15	
	上层								1		25		24		23		22		21
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	14		13		12		11		10		9		8		7		6	
	上层		20		19		18		17		16		15		14		13		12
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
槽号	下层	5		4		3		2											
	上层		11		10		9		8	7	6	5	4	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例为单波绕组，线圈节距小于极距，故属短距绕组。每线圈由 3 元件组成，槽 1—7 线圈左侧为下层边，其元件分别引接到换向片 1、2、3；右侧是上层边，元件分别对应接入换向片 38、39、40，其余接线类推。此绕组应用较多，主要实例有 Z2-61、Z3-41 直流电机，ZXQ-13.5/30、ZXQ-12/48、ZXQ-8/24 等蓄电池供电式直流电机及 T82-4 的发电机配用励磁机等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-15 所示。

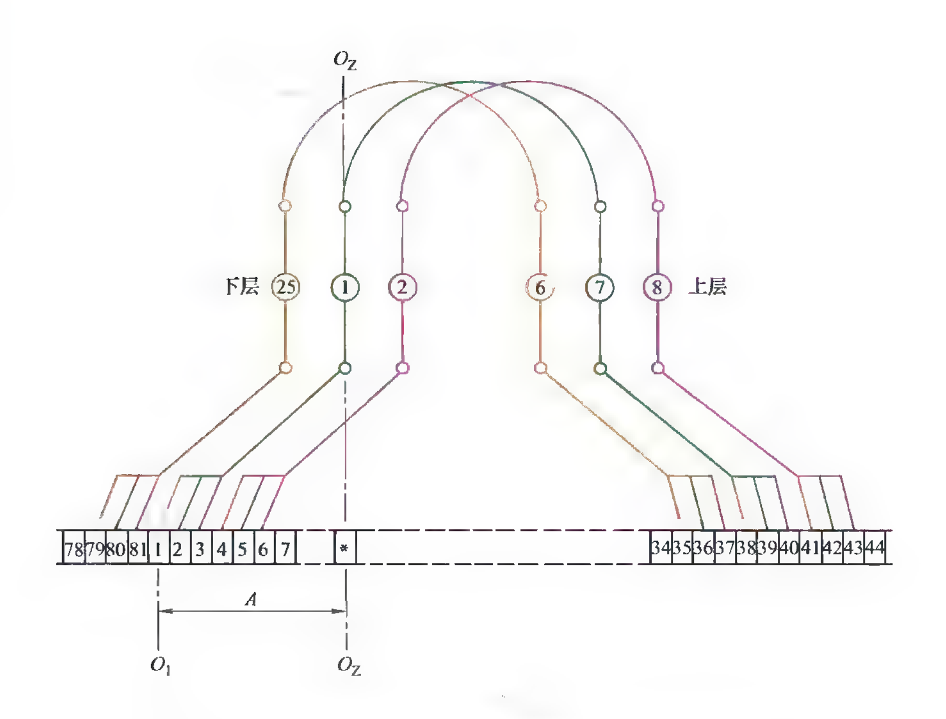


图 5-15　25×3 槽 4 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.3 27×1槽4极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=27$　　　每槽元件　$u=1$

电机极数　$2p=4$　　　实槽节距　$y=6$

换向片数　$K=27$　　　换向节距　$y_K=13$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为6。嵌线在转子上部始嵌，而线圈左侧有效边在下层，故用前进嵌线工艺。嵌线顺序见表5-16。

表5-16　交叠法（前进式）

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
嵌入槽号	下层	1	27	26	25	24	23	22		21		20		19		18		17	
	上层								1		27		26		25		24		23
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
嵌入槽号	下层	16		15		14		13		12		11		10		9		8	
	上层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
嵌入槽号	下层	7		6		5		4		3		2							
	上层		13		12		11		10		9		8	7	6	5	4	3	2

（3）接线要点与应用举例

本例为短距单波绕组，且每个线圈只有一元件。上层置于右侧，下层边在左侧。此转子铁芯结构为A类，即槽中心线与换向器的云母片中心线重合，如图5-16所示。根据资料查得，此绕组$A=3.5$，即此转子1号槽中心线O_Z与云母片重合，而1号换向片距离“*”号是3.5片。本例实际应用不多，应用实例仅见用于原铁牛-55D型农用拖拉机配用的启动机电枢转子绕组。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-16 所示。

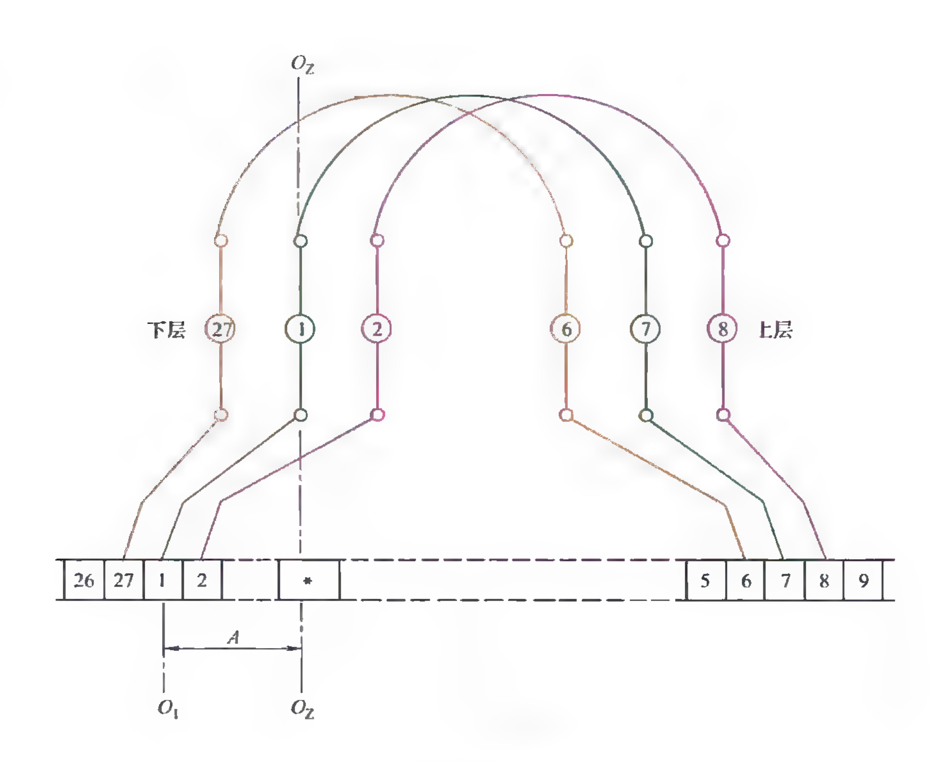


图 5-16　27×1 槽 4 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.4 27×3 槽 4 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=27$　　　　每槽元件　$u=3$

电机极数　$2p=4$　　　　实槽节距　$y=7$

换向片数　$K=81$　　　　换向节距　$y_K=40$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-17。

表 5-17　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	27	26	25	24	23	22		21		20		19		18		17	
	上层								1		27		26		25		24		23
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	16		15		11		13		12		11		10		9		8	
	上层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	7		6		5		4		3		2							
	上层		13		12		11		10		9		8	7	6	5	4	3	2

（3）接线要点与应用举例

本例是采用长节距的单波绕组。每线圈有 3 个元件，槽 1—8 线圈左侧是下层边，引线分别接入换向片 1、2、3；右侧是上层边，对应元件则分别接到换向片 41、42、43。其余线圈接法依此类推。此式绕组应用较多，主要实例有 Z2-11、Z2-41、Z2-42、Z2-51、Z2-52、Z2-71、Z2-81，Z3-51、Z3-52 等直流电动机；ZXQ-25/40 蓄电池供电式直流电动机；ZK-32 控制用直流电动机以及 AX7-400 型直流弧焊发电机等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-17 所示。

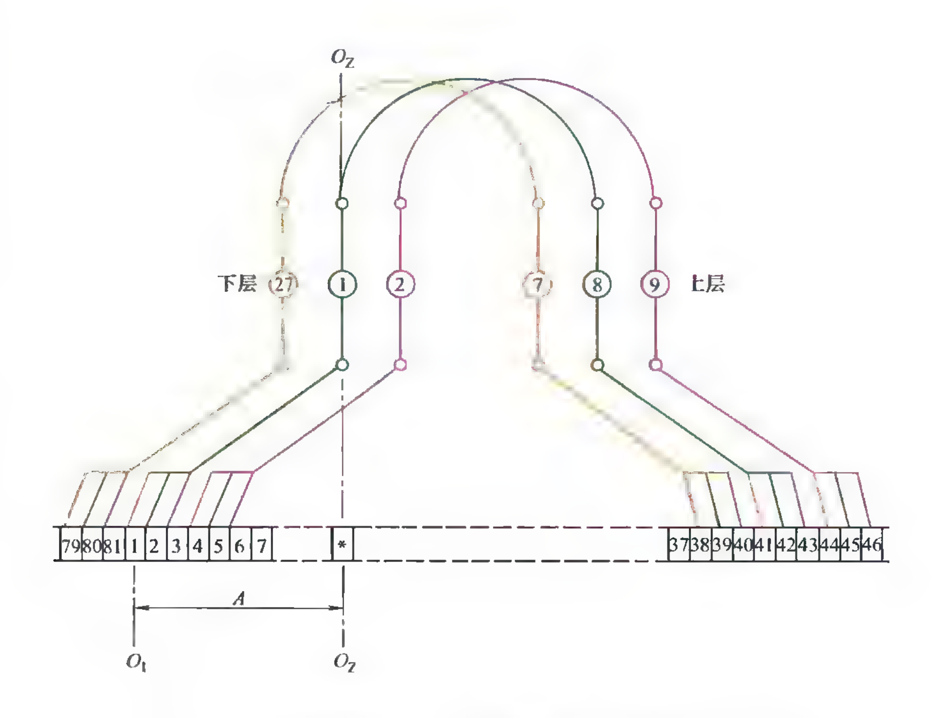


图 5-17　27×3 槽 4 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.5 29×3 槽 4 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波布线

（1）绕组结构参数

转子槽数 $Z=29$　　每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=4$　　实槽节距 $y=7$

换向片数 $K=87$　　换向节距 $y_K=43$

（2）嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-18。

表 5-18　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下层	1	29	28	27	26	25	24	23		22		21		20		19		18		17
	上层									1		29		28		27		26		25	
嵌绕次序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下层		16		15		14		13		12		11		10		9		8		7
	上层	24		23		22		21		20		19		18		17		16		15	
嵌绕次序		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58		
槽号	下层		6		5		4		3		2										
	上层	14		13		12		11		10		9	8	7	6	5	4	3	2		

（3）接线要点与应用举例

本例绕组采用短距布线的单波绕组。线圈由 3 个元件组成。槽 1—8 线圈下层引接于换向片 1、2、3；上层边对应分别接到换向片 44、45、46。其余线圈依此类推。主要应用实例有 Z2-91、Z2-92 直流电动机，ZZJ2-22 冶金起重用直流电动机，ZK-32 控制用直流电动机及 AX3-300、AX4-300 弧焊直流发电机等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图5-18所示。

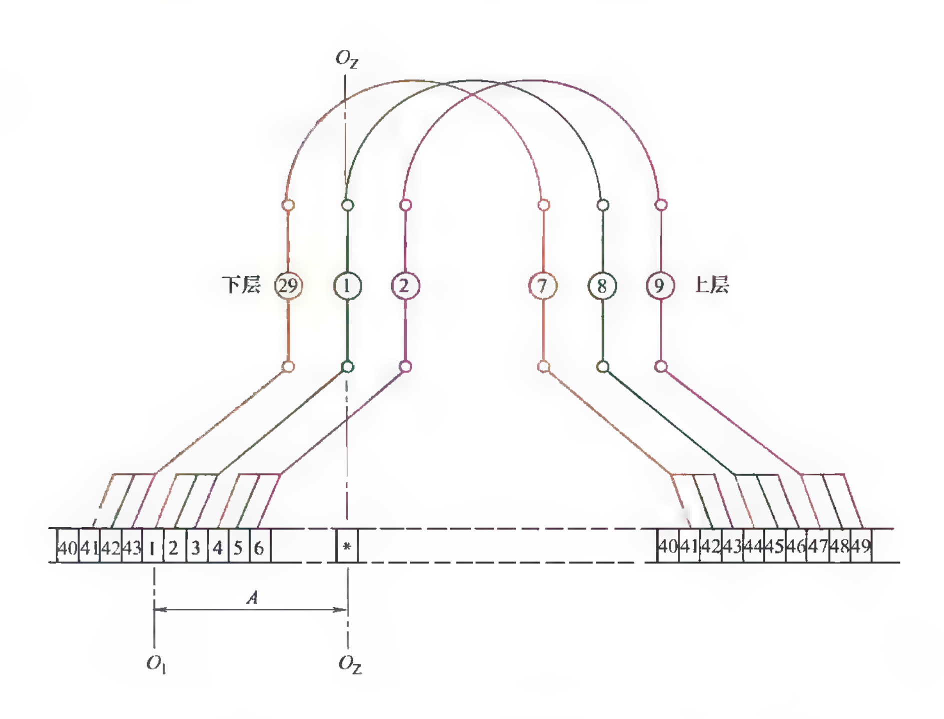


图5-18　29×3槽4极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.6 29×5 槽 4 极 (y=7) 直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=29$　　　　每槽元件　$u=5$

电机极数　$2p=4$　　　　实槽节距　$y=7$

换向片数　$K=145$　　　　换向节距　$y_K=72$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-19。

表 5-19　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	1	29	28	27	26	25	24	23		22		21		20		19
	上层									1		29		28		27	
嵌绕次序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层		18		17		16		15		14		13		12		11
	上层	26		25		24		23		22		21		20		19	
嵌绕次序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层		10		9		8		7		6		5		4		3
	上层	18		17		16		15		14		13		12		11	
嵌绕次序		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58						
槽号	下层		2														
	上层	10		9	8	7	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用短距布线方案，因 u 值较大，故宜用简化画法。线圈节距较极距短 1/4 槽。每槽元件数为 5，槽 1—8 线圈下层边元件分别接入换向片 1、2、3、4、5；上层边对应接到换向片 73、74、75、76、77，其余线圈接线依此类推。此绕组主要应用于 Z2-91、Z2-82、Z2-71、Z2-72 等直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-19 所示。

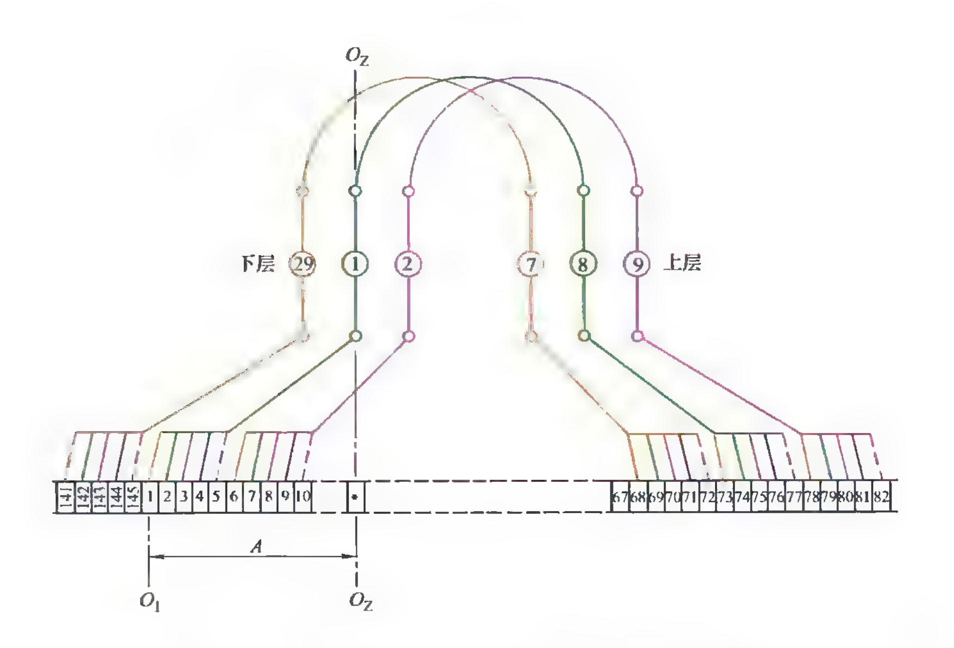


图 5-19　29×5 槽 4 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.7 31×3 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=31$　　　　每槽元件　$u=3$

电机极数　$2p=4$　　　　实槽节距　$y=8$

换向片数　$K=93$　　　　换向节距　$y_K=46$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-20。

表 5-20　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	31	30	29	28	27	26	25	24		23		22		21		20	
	上层										1		31		30		29		28
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	19		18		17		16		15		14		13		12		11	
	上层		27		26		25		24		23		22		21		20		19
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	10		9		8		7		6		5		4		3		2	
	上层		18		17		16		15		14		13		12		11		10
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62										
槽号	下层																		
	上层	9	8	7	6	5	4	3	2										

(3) 接线要点与应用举例

本例系采用长距布线，线圈节距较极距长 1/4 槽。每线圈有 3 个元件，槽 1—9 线圈下层边分别引接换向片 1、2、3；上层边元件则对应接入换向片 47、48、49。其余线圈接线类推。此绕组应用较广，如有 Z2-51、Z2-61、Z2-62、Z3-61、Z3-62 等直流电机，ZQ-2B、ZQ-8B、ZQ-3、ZQ-7 等电车用直流电机以及 ZZJ2-42、ZZJ2-32、ZZY-32、ZZY-42 等冶金起重用直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-20 所示。

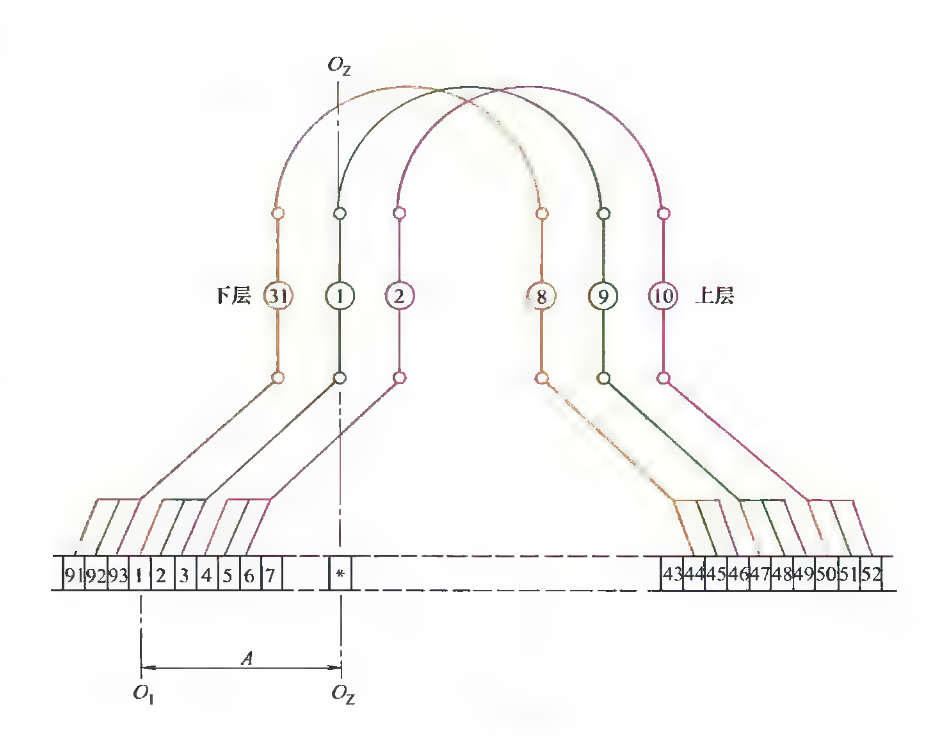


图 5-20　31×3 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.8 33×3 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=33$　　每槽元件 $u=3$

电机极数 $2p=4$　　实槽节距 $y=8$

换向片数 $K=99$　　换向节距 $y_K=49$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-21。

表 5-21　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	33	32	31	30	29	28	27	26		25		24		23		22	
	上层										1		33		32		31		30
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	21		20		19		18		17		16		15		14		13	
	上层		29		28		27		26		25		21		23		22		21
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	18	19	50	51	52	53	54
槽号	下层	12		11		10		9		8		7		6		5		4	
	上层		20		19		18		17		16		15		14		13		12
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66						
槽号	下层	3		2															
	上层		11		10	9	8	7	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

本例为短距布线单波绕组，线圈节距较极距短 1/4 槽。每槽元件数为 3，即槽 1—9 线圈下层边元件分别接入换向片 1、2、3；上层边元件分别对应接于换向片 50、51、52。其余线圈接线类推。绕组主要应用实例有 Z2-71、Z2-72、Z2-82、Z2-91 直流电机及 ZZJ2-42 冶金起重用直流电机等。

(4) 绕组端面 (局部) 布接线图

如图 5-21 所示。

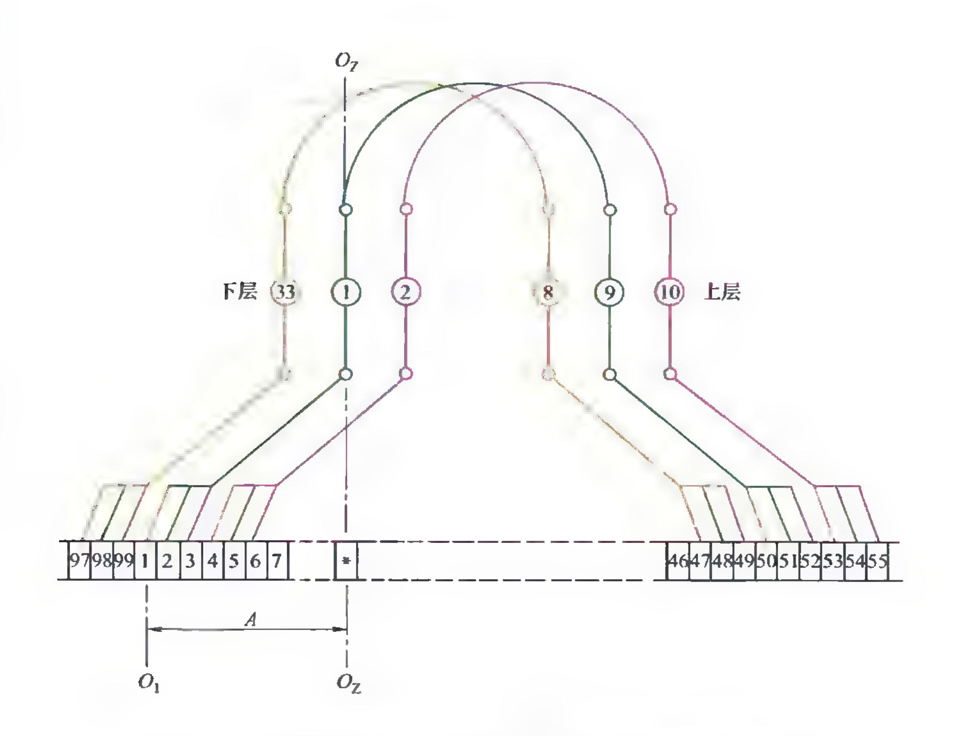


图 5-21　33×3 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.9 35×3槽4极（y=9）直流电机电枢绕组单波布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=35$　　　　每槽元件　$u=3$

电机极数　$2p=4$　　　　实槽节距　$y=9$

换向片数　$K=105$　　　　换向节距　$y_K=52$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为9。嵌线顺序见表5-22。

表5-22　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	35	34	33	32	31	30	29	28	27		26		25		24		23
	上层											1		35		34		33	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
	上层	32		31		30		29		28		27		26		25		24	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		13		12		11		10		9		8		7		6		5
	上层	23		22		21		20		19		18		17		16		15	
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
槽号	下层		4		3		2												
	上层	14		13		12		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		

（3）接线要点与应用举例

本例为长距布线的单波绕组，线圈节距较极距长1/4槽。每线圈有3个元件，线圈1—10左侧为下层，元件分别接入换向片1、2、3；右侧为上层，对应元件分别接到换向片53、54、55。其余类推。应用实例有Z2-71、Z2-81、Z2-82、Z2-111直流电机及ZZJ2-62冶金起重用直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-22 所示。

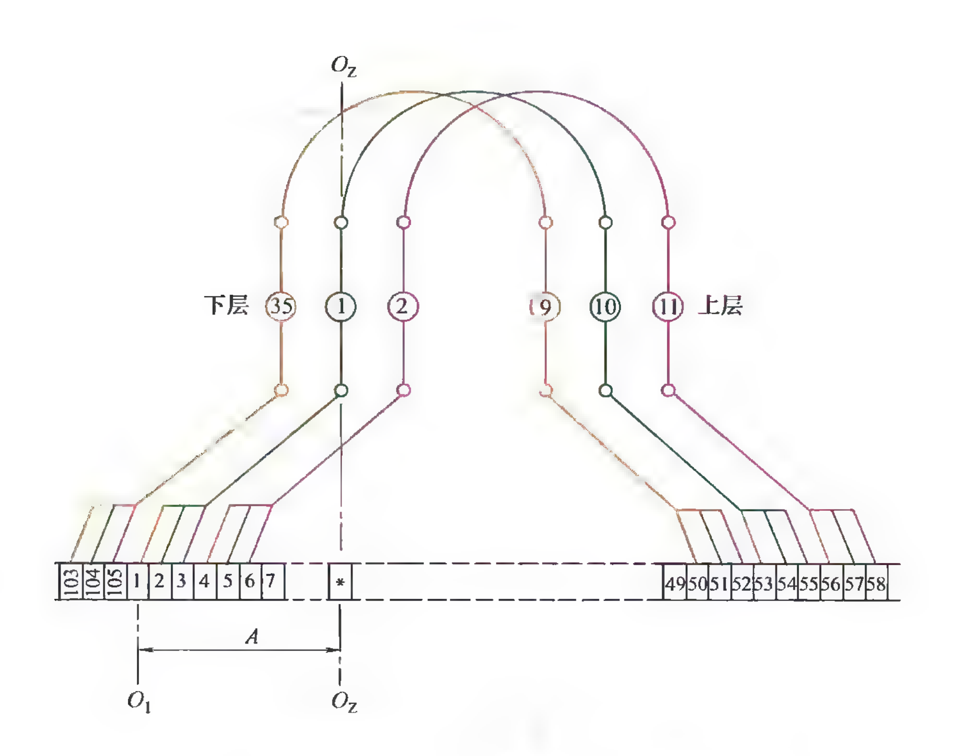


图 5-22 35×3 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单波布线

5.2.10　37×3 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=37$　　　　每槽元件　$u=3$

电机极数　$2p=4$　　　　实槽节距　$y=9$

换向片数　$K=111$　　　　换向节距　$y_K=55$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 9。嵌线顺序见表 5-23。

表 5-23　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	1	37	36	35	34	33	32	31	30	29		28		27		26		25	
	上层											1		37		36		35		34
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层	24		23		22		21		20		19		18		17		16		15
	上层		33		32		31		30		29		28		27		26		25	
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层		14		13		12		11		10		9		8		7		6	
	上层	24		23		22		21		20		19		18		17		16		15
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74		
槽号	下层	5		4		3		2												
	上层		14		13		12		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		

(3) 接线要点与应用举例

本例采用短距布线。线圈 1—10 的下层边引线分别接入换向片 1、2、3；上层边则对应接到换向片 56、57、58。其余类推。主要应用实例有 Z2-91、Z2-102 等直流电机及 ZBD-92J 龙门刨床用直流电机。

(4) 绕组端面 (局部) 布接线图

如图 5-23 所示。

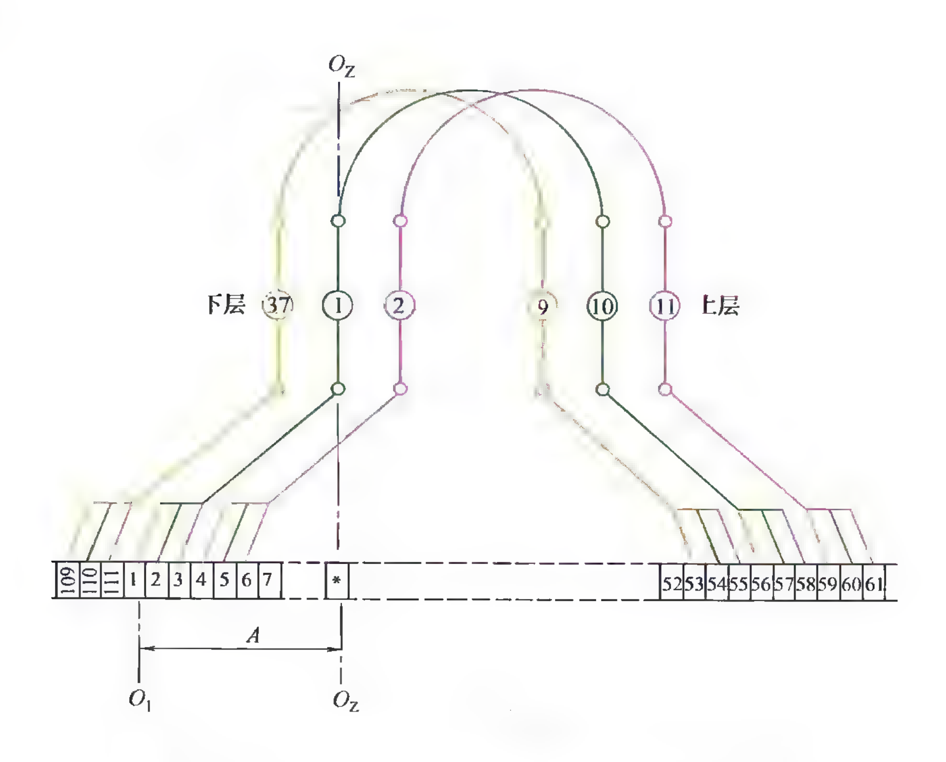


图 5-23　37×3 槽 4 极 (y = 9) 直流电机电枢绕组单波布线

5.2.11 39×3 槽 4 极（$y=10$）直流电机电枢绕组单波布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=39$　　电机极数 $2p=4$

每槽元件 $u=3$　　实槽节距 $y=10$

换向片数 $K=117$　　换向节距 $y_K=58$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 10。嵌线顺序见表 5-24。

表 5-24 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下层	1	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30		29		28		27		26	
	上层												1		39		38		37		36
嵌绕次序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下层	25		24		23		22		21		20		19		18		17		16	
	上层		35		34		33		32		31		30		29		28		27		26
嵌绕次序		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
槽号	下层	15		14		13		12		11		10		9		8		7		6	
	上层		25		24		23		22		21		20		19		18		17		16
嵌绕次序		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78		
槽号	下层	5		4		3		2													
	上层		15		14		13		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		

(3) 接线要点与应用举例

本绕组采用长距布线。线圈 1—11 左侧为下层，其三元件分别接入换向片 1、2、3；右侧上层元件则对应接到换向片 59、60、61。其余线圈尾随接入相应换向片。绕组应用实例有 Z2-72 等直流电机、ZZJ2-92 冶金起重用电机及 ZBF-92J 龙门刨床用直流电机。

(4) 绕组端面 (局部) 布接线图

如图 5-24 所示。

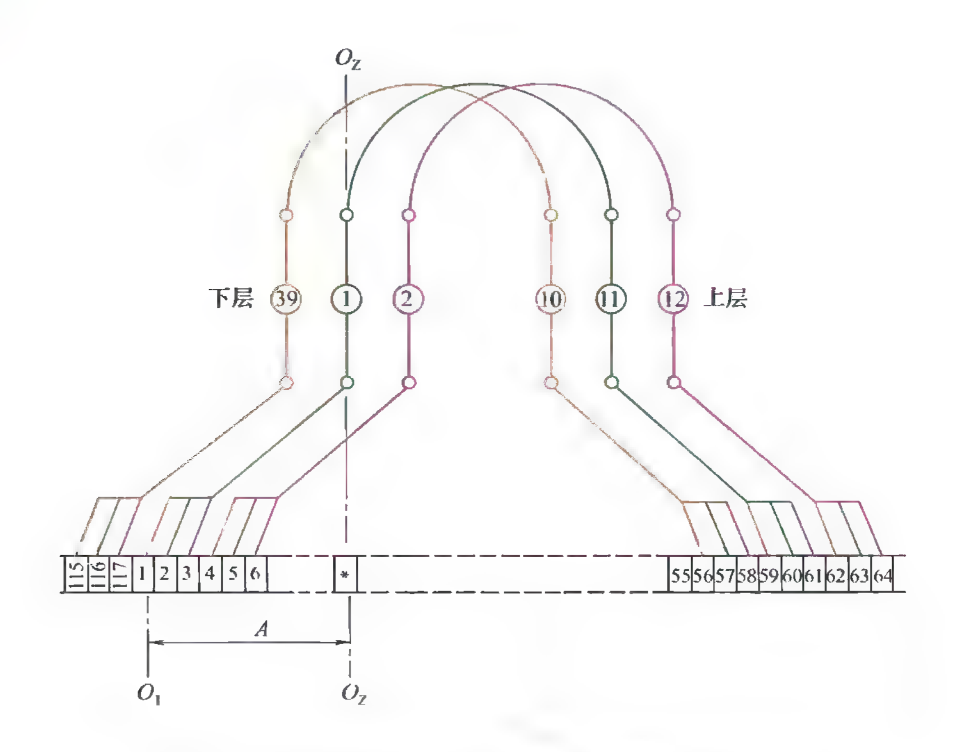


图 5-24　39×3 槽 1 极 ($y=10$) 直流电机电枢绕组单波布线

5.3 直流电机死波绕组端面（局部）布接线图

死波绕组是单波绕组的特殊型式，它是带有死元件单波绕组的简称。所谓“死元件”，早期称作“赝圈”，后有称“假线圈”、“伪元件”等。它是直流电枢绕组的线圈元件中，不与换向器相接的元件，在例图中用黑色线段表示。绕组中之所以出现死元件，主要受限于单波绕组的构成条件，即单波绕组元件接入换向器绕行到终点时，必须使其回接到起始换向片 1。所以，为满足绕组的单波绕行，换向片数 K 就必须为奇数。而转子槽数 Z 是根据铁芯冲片型规选用的，当 Z 选定后，单波绕组的总元件数 $S=Zu=K$；但总元件数 S 又取决于电磁计算，这样也间接地决定每槽元件数的 u 值。当 Zu 值出现偶数，则 K 值也是偶数，从而便导致单波绕组局部闭合而无法绕行。对此就要人为地取 K 为奇数，将总元件数（Zu）中的一个元件弃用，此元件即称“死元件”，而带有死元件的单波绕组，即本书所谓的“死波绕组”。

① 图题规格：死波绕组的有效元件数不等于换向片数，因此，如图例标题采用“31×4－1”表示；其中 31 为实槽数，4 为每槽元件数，总元件数为 31×4，总有效元件数为 31×4－1，死元件数为 1。

② 主要绕组参数：死波绕组参数计算与单波绕组基本相同，但其中：

a. 总元件数　$S=Zu$

b. 每槽元件数　$u=(K+1)/Z$

c. 有效元件数　$S_x=K=S-1$

d. 死元件数　死波绕组的死元件数可以是 1～$(u-1)$，但实用上均取 1。

③ 死波绕组也全用端面（局部）的简化画法。图例的结构含义参考本章前述说明。

④ 死波绕组线圈通常由 u 个元件组成，同一线圈接入换向器的元件用不同颜色标示，如黄色是元件 1；绿色是元件 2；红色是元件 3；黑色为元件 4；而黑色不接入，且呈弯回状的是死元件。死元件

可设定在线圈的前面、中间或后面，但本节图例为便于绘图将其置于前面。

⑤ 死波绕组重绕修理时，必须做好拆线标记和图文记录。由于换向片数不等于总元件数，即每槽所占换向片数为分数，所以槽中心线对换向片的相对位置是变化的，如有的槽中心线与换向器的重合位在换向片，有的却在两片之间的云母片；再者，线圈中还有一个包含死元件在内的特殊线圈。因此，拆线时做好标记尤为重要。在单叠和单波绕组中，1号起始槽的位置可以任意选定，但在死波绕组，为了便于记录和重绕后的动平衡不致相差太多，本书把1号槽选在与带死元件的线圈相邻，即把有死元件线圈所在槽定为最后一槽，而相邻前一槽定为1号（标记）起始槽。所以，每拆一线圈都要认真检查，作好标记和记录。之后确定前面的1号槽及其线圈左侧元件接入的换向片，并将其顺序编号；记录从“*”点为 O 算起到1号换向片的 A 值（片数）及右侧元件接入换向片号。

⑥ 绕组的嵌线：既然图例设计成线圈左侧为下层，则宜用前进式嵌线：先嵌1号（槽）线圈下层，再退嵌最后一槽死元件线圈下层；嵌过 y 槽后即可整嵌，直至最后把吊起的上层边嵌入相应槽内。

⑦ 绕组接线：绕组接线从1号（槽）线圈起接，先将左侧下层元件按图接入换向片线槽（或升高片上）；随后接入2号（槽）线圈左侧元件；其余类推，到最后一槽左侧元件接入后，余下一个死元件端头要包扎好绝缘，并压入元件之间间隙处。然后再将1号线圈右侧元件按记录接入换向片槽的上层，循此接入，直至完成。

5.3.1　21×2−1槽4极（$y=5$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=21$　　总元件数　$S=42$

电机极数　$2p=4$　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=41$　　实槽节距　$y=5$

每槽元件　$u=2$　　换向节距　$y_K=20$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 5。嵌线方法见表 5-25。

表 5-25　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	1	㉑	20	19	18	17		16		15		14		13		12
	上层							1		21		20		19		18	
嵌绕次序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层		11		10		9		8		7		6		5		4
	上层	17		16		15		14		13		12		11		10	
嵌绕次序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42						
槽号	下层		3		2												
	上层	9		8		7	6	⑤	4	3	2						

注：带圈槽号为嵌入带死元件的线圈（后同）。

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用短距布线，线圈节距较极距缩短 1/4 槽。槽 1—6 线圈左侧为下层，两元件分别引接入换向片 1、2；右侧为上层，元件对应接到换向片 21、22。其余类推，但具有死元件的线圈安排在槽 21—5，其有效元件分别跨接于换向片 41 和 20；死元件则用绝缘包好。此绕组主要应用于 F66 等汽车及拖拉机用直流发电机电枢。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-25 所示。

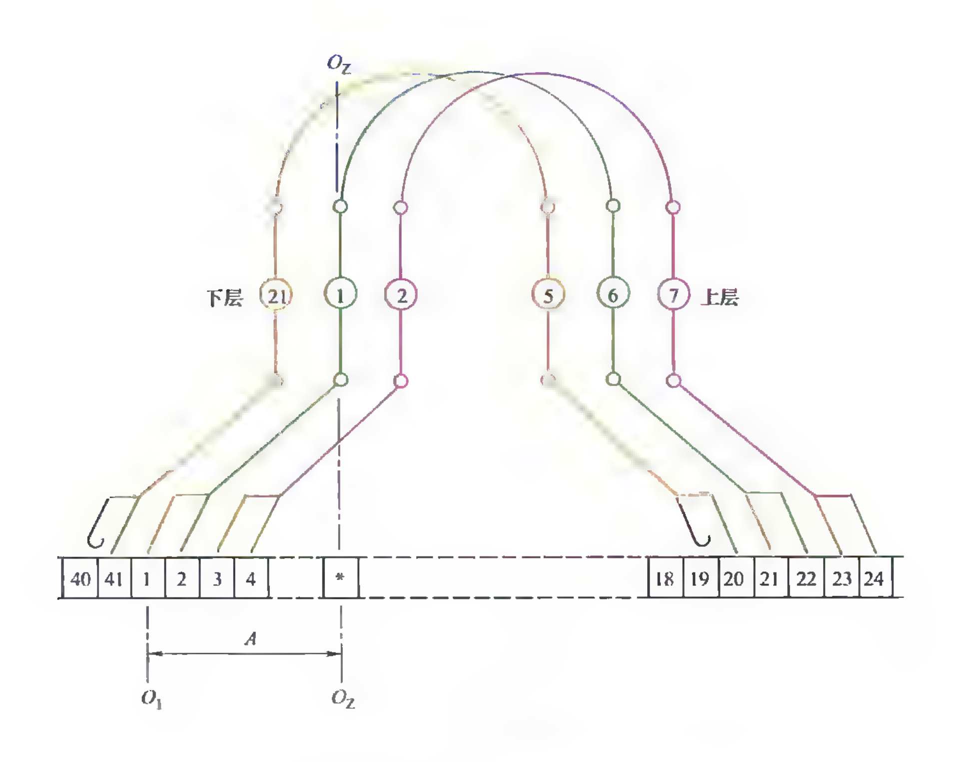


图 5-25 21×2−1 槽 4 极（$y=5$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.2　25×4−1 槽 4 极（$y=5$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=25$　　总元件数　$S=100$

电机极数　$2p=4$　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=99$　　实槽节距　$y=5$

每槽元件　$u=4$　　换向节距　$y_K=49$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 5。嵌线顺序见表 5-26。

表 5-26　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉕	24	23	22	21		20		19		18		17		16		15
	上层							1		25		24		23		22		21	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		14		13		12		11		10		9		8		7		6
	上层	20		19		18		17		16		15		14		13		12	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
槽号	下层		5		4		3		2										
	上层	11		10		9		8		7	6	⑤	1	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用缩短节距布线，线圈节距较全距缩短 1¼ 槽，比一般常用节距短 1 槽，仅用于特殊用途的电动机。线圈 1—6 左侧为下层边，4 元件分别引接到换向片 1、2、3、4；右侧上层边元件对应接在片 50、51、52、53。其余类推。死元件安排在线圈 25—5。应用实例有 ZZJ2-12 冶金起重直流电动机。

(4) 绕组端面 (局部) 布接线图

如图 5-26 所示。

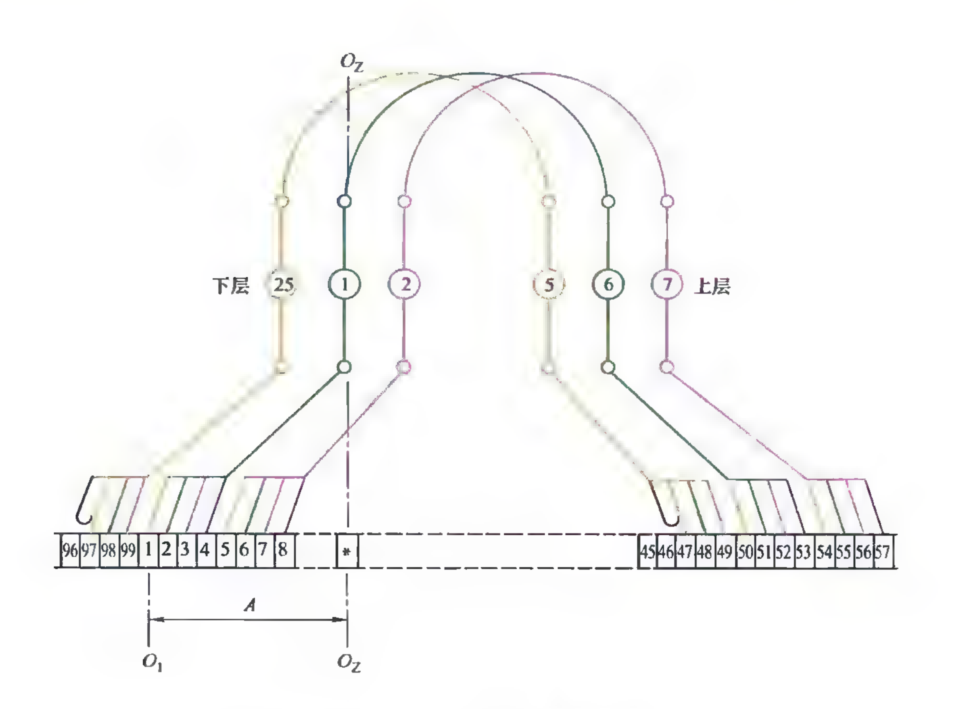


图 5-26　25×4－1 槽 4 极 (y＝5) 直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.3 27×4－1 槽 4 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=27$　　　总元件数　$S=108$

电机极数　$2p=4$　　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=107$　　　实槽节距　$y=6$

每槽元件　$u=4$　　　换向节距　$y_K=53$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 6。嵌线顺序见表 5-27。

表 5-27　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉗	26	25	24	23	22		21		20		19		18		17	
	上层								1		27		26		25		24		23
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	16		15		14		13		12		11		10		9		8	
	上层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	7		6		5		4		3		2							
	上层		13		12		11		10		9		8	7	⑥	5	4	3	2

(3) 接线要点与应用举例

本例系采用短节距的死波绕组，线圈节距较全距缩短 3/4 槽。每线圈由 4 个元件组成，线圈 1—7 左侧为下层边，各元件分别接入换向片 1、2、3、4；右侧在上层边，其元件分别对应接到换向片 54、55、56、57。其余线圈接线类推。具有死元件的线圈跨嵌于槽 27—6，有效的 3 个元件分别接入换向片 105、106、107 和 51、52、53，死元件两端进行绝缘。此绕组应用实例有 ZQF-5-2 等电车用直流发电机电枢。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-27 所示。

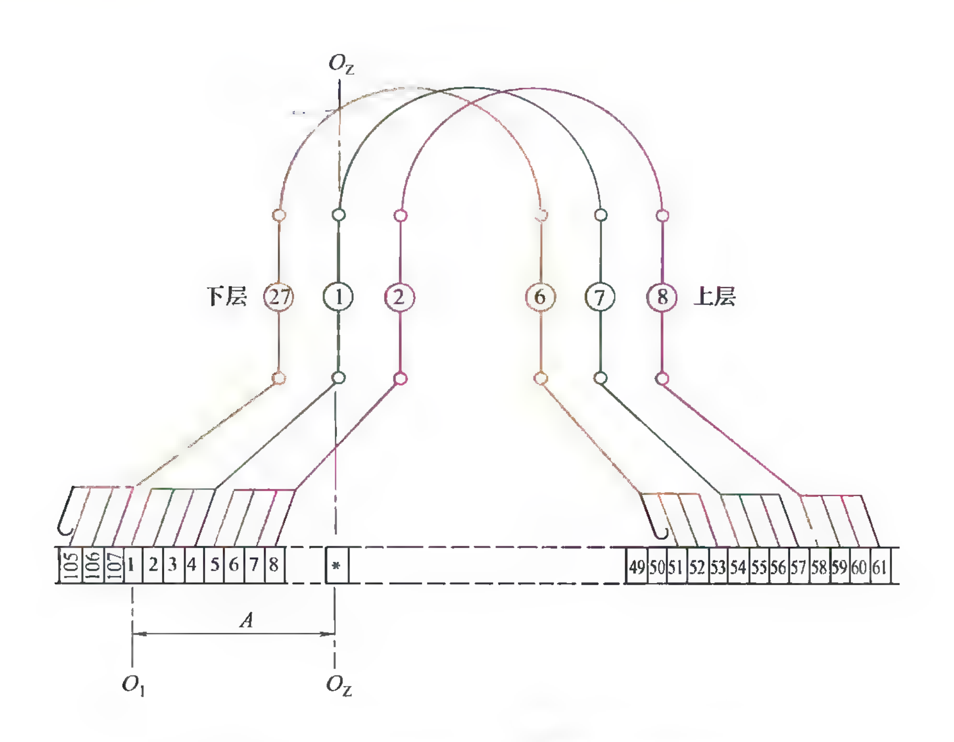


图 5-27　27×4　1 槽 4 极（$y=6$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.4 27×4−1 槽 4 极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=27$　　总元件数 $S=108$

电机极数 $2p=4$　　死元件数 $S_0=1$

换向片数 $K=107$　　实槽节距 $y=7$

每槽元件 $u=4$　　换向节距 $y_K=53$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠嵌线法，吊边数为 7。嵌线顺序见表 5-28。

表 5-28　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉗	26	25	24	23	22	21		20		19		18		17		16
	上层									1		27		26		25		24	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		15		14		13		12		11		10		9		8		7
	上层	23		22		21		20		19		18		17		16		15	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		6		5		4		3		2								
	上层	14		13		12		11		10		9	8	⑦	6	5	4	3	2

(3) 接线要点与应用举例

本绕组采用长距布线，线圈节距较全距长 1/4 槽。每线圈由 4 元件组成。槽 1—8 线圈左侧为下层，各元件分别引接到换向片 1、2、3、4；右侧是上层，对应各元件分别接入换向片 54、55、56、57。其余类推。此绕组主要应用于冶金起重直流电动机，实例有 ZZJ2-31 等。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-28 所示。

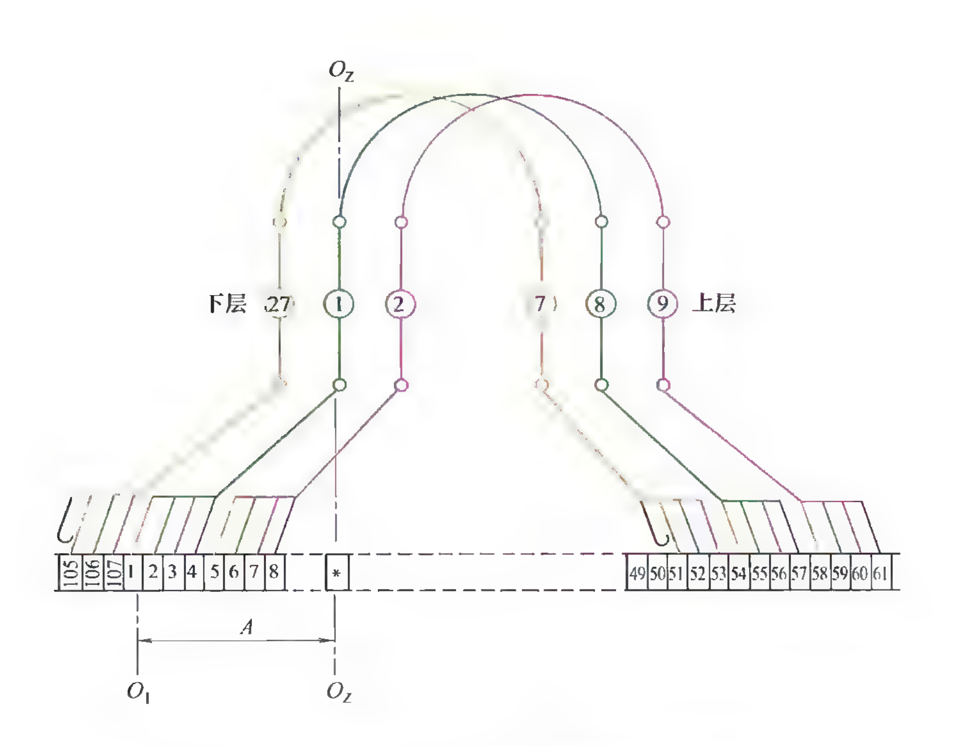


图 5-28 27×4−1 槽 4 极（y=7）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.5 29×2－1槽4极（$y=7$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=29$　　总元件数 $S=58$

电机极数 $2p=4$　　死元件数 $S_0=1$

换向片数 $K=57$　　实槽节距 $y=7$

每槽元件 $u=2$　　换向节距 $y_K=28$

(2) 嵌线方法

本例绕组嵌线用交叠法，吊边数为7。嵌线顺序见表5-29。

表5-29　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	1	㉙	28	27	26	25	24	23		22		21		20		19
	上层									1		29		28		27	
嵌绕次序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层		18		17		16		15		14		13		12		11
	上层	26		25		24		23		22		21		20		19	
嵌绕次序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层		10		9		8		7		6		5		4		3
	上层	18		17		16		15		14		13		12		11	
嵌绕次序		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58						
槽号	下层		2														
	上层	10		9	8	⑦	6	5	4	3	2						

(3) 接线要点与应用举例

本例为短距布线的死波绕组。每线圈由2元件构成，线圈1—8左侧为下层边，元件接入换向片1、2；右侧是上层边，元件分别对应接入换向片29、30。其余类推。具有死元件的线圈嵌入槽29—7。此绕组主要用于蓄电池供电式直流电动机，应用实例如ZXQ-40/30。

(4) 绕组端面(局部)布接线图

如图 5-29 所示。

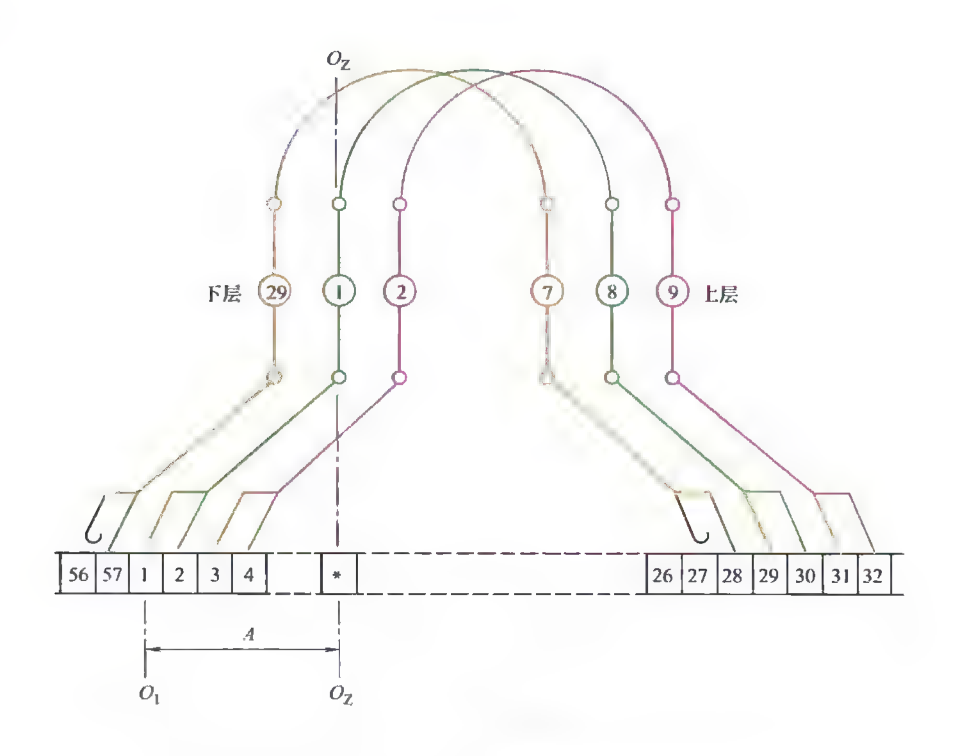


图 5-29　29×2－1 槽 4 极 ($y=7$) 直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.6 31×4−1 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=31$　　　　总元件数　$S=124$

电机极数　$2p=4$　　　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=123$　　　　实槽节距　$y=8$

每槽元件　$u=4$　　　　换向节距　$y_K=61$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-30。

表 5-30　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	1	㉛	30	29	28	27	26	25	24		23		22		21	
	上层										1		31		30		29
嵌绕次序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层	20		19		18		17		16		15		14		13	
	上层		28		27		26		25		24		23		22		21
嵌绕次序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层	12		11		10		9		8		7		6		5	
	上层		20		19		18		17		16		15		14		13
嵌绕次序		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62		
槽号	下层	4		3		2											
	上层		12		11		10	9	⑧	7	6	5	4	3	2		

（3）接线要点与应用举例

本例采用长距布线，线圈节距较全距长 1/4 槽。每线圈由 4 元件组成，槽 1—9 线圈左侧为下层边，元件接于换向片 1、2、3、4；右侧上层边则分别对应接入换向片 62、63、64、65。其余类推。具有死元件的线圈安排在槽 31—8。此绕组多用于工作繁重的场合，应用实例有 ZQD-4A 电车用直流电机；ZZY-31、ZZY-41、ZZY2-52 等冶金起重用直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-30 所示。

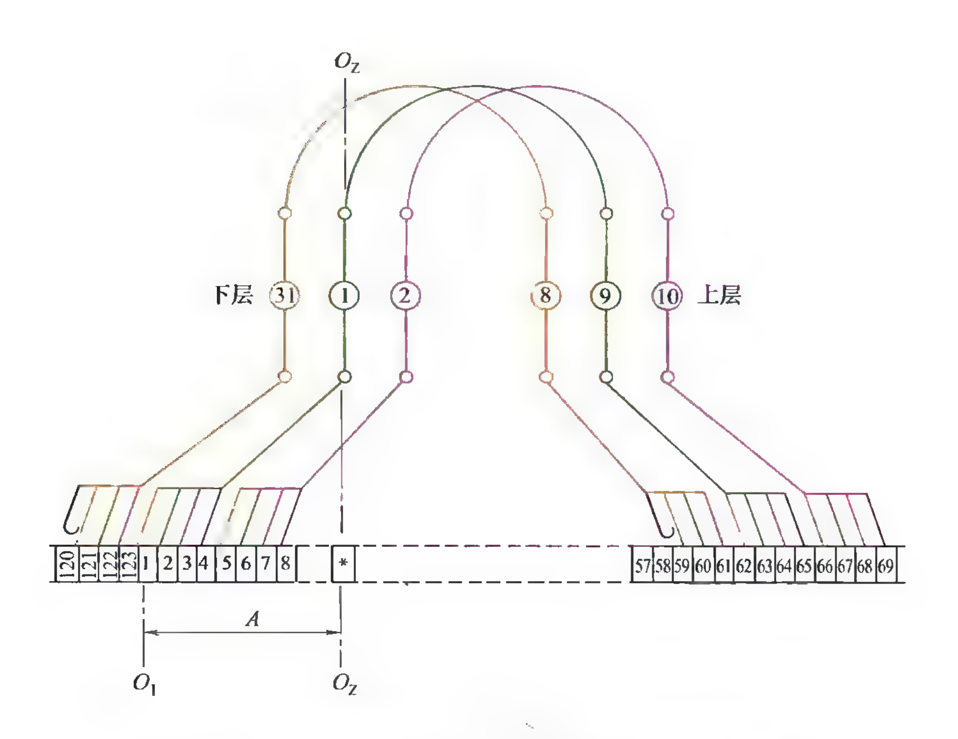


图 5-30　31×4−1 槽 4 极（y=8）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.7　34×3−1 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=34$　　　总元件数　$S=102$

电机极数　$2p=4$　　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=101$　　　实槽节距　$y=8$

每槽元件　$u=3$　　　换向节距　$y_K=50$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-31。

表 5-31　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉞	33	32	31	30	29	28	27		26		25		24		23	
	上层										1		34		33		32		31
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	22		21		20		19		18		17		16		15		14	
	上层		30		29		28		27		26		25		24		23		22
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	13		12		11		10		9		8		7		6		5	
	上层		21		20		19		18		17		16		15		14		13
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68				
槽号	下层	4		3		2													
	上层		12		11		10	9	⑧	7	6	5	4	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用短距布线，线圈节距较全距缩短 1/2 槽，有利于节省铜线。线圈由 3 个元件组成，槽 1—9 线圈左侧元件分别接换向片 1、2、3；右侧元件对应接入换向片 51、52、53。其余类推。具有死元件的线圈安排在槽 34—8。主要应用实例有 Z2-102 直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-31 所示。

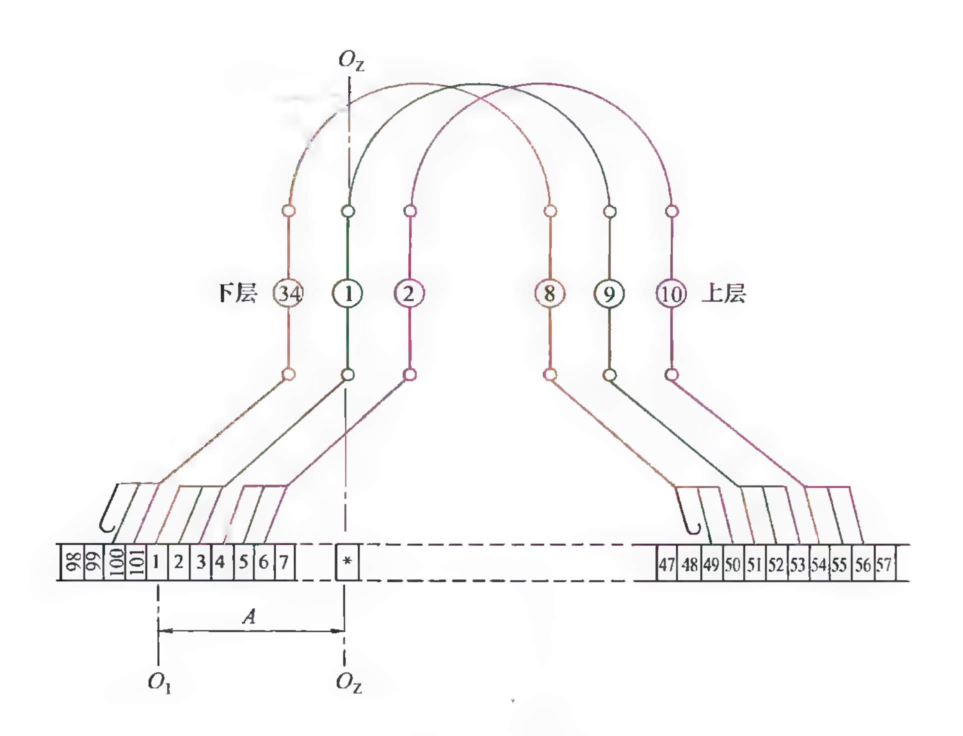


图 5-31　34×3−1 槽 4 极（y−8）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.8 34×4−1 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=34$　　总元件数 $S=136$

电机极数 $2p=4$　　死元件数 $S_0=1$

换向片数 $K=135$　　实槽节距 $y=8$

每槽元件 $u=4$　　换向节距 $y_K=67$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法，嵌线吊边数为 8。嵌线顺序见表 5-32。

表 5-32　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉞	33	32	31	30	29	28	27		26		25		24		23	
	上层										1		34		33		32		31
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	22		21		20		19		18		17		16		15		14	
	上层		30		29		28		27		26		25		24		23		22
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层	13		12		11		10		9		8		7		6		5	
	上层		21		20		19		18		17		16		15		14		13
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68				
槽号	下层	4		3		2													
	上层		12		11		10	9	⑧	7	6	5	4	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用短距线圈布线。每圈由 4 元件组成，线圈 1—9 左侧元件接入换向片 1、2、3、4；右侧接换向片 68、69、70、71。其余线圈接线类推。主要应用实例有 Z2-101、Z2-102 等直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-32 所示。

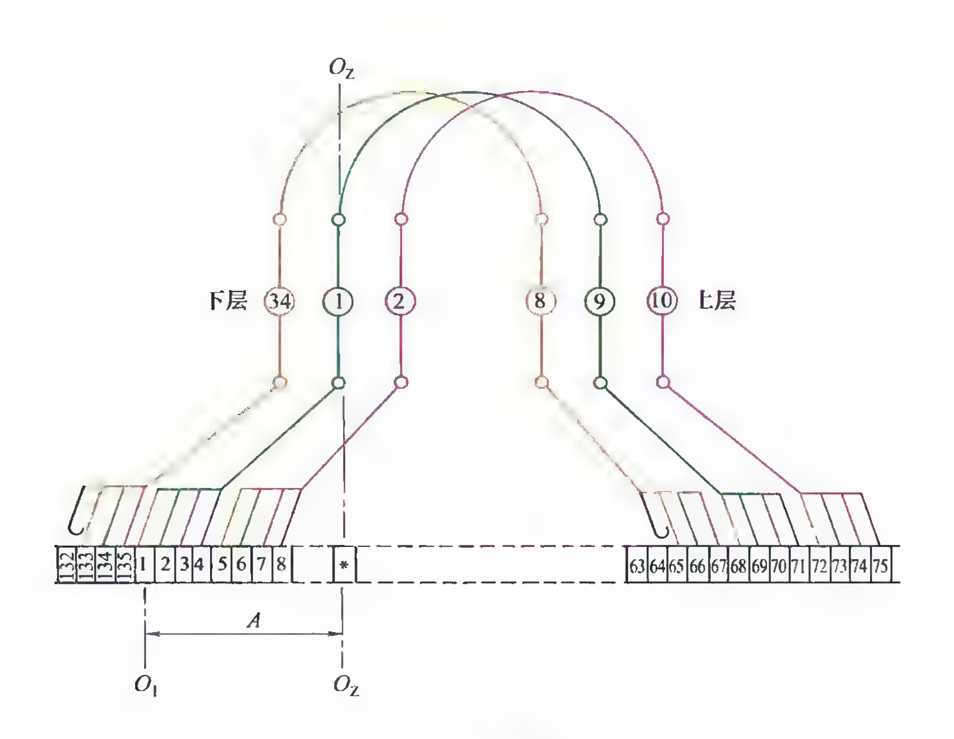


图 5-32 34×4−1 槽 4 极（$y=8$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.9　35×2−1 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

（1）绕组结构参数

转子槽数　$Z=35$　　　　总元件数　$S=70$

电机极数　$2p=4$　　　　死元件数　$S_0=1$

换向片数　$K=69$　　　　实槽节距　$y=9$

每槽元件　$u=2$　　　　换向节距　$y_K=34$

（2）嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 9。嵌线顺序见表 5-33。

表 5-33　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㉟	34	33	32	31	30	29	28	27		26		25		24		23
	上层											1		35		34		33	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		22		21		20		19		18		17		16		15		14
	上层	32		31		30		29		28		27		26		25		24	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		13		12		11		10		9		8		7		6		5
	上层	23		22		21		20		19		18		17		16		15	
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		
槽号	下层		4		3		2												
	上层	14		13		12		11	10	⑨	8	7	6	5	4	3	2		

（3）接线要点与应用举例

本例绕组采用缩短 1/4 槽布线。每线圈有 2 个元件，槽 1—10 线圈左侧为下层边，元件分别接入换向片 1、2；右侧是上层边，对应元件分别引接到换向片 35、36。其余接线类推。带死元件的线圈安排在槽 35—9。主要应用实例有 ZQ-4B 电车用直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-33 所示。

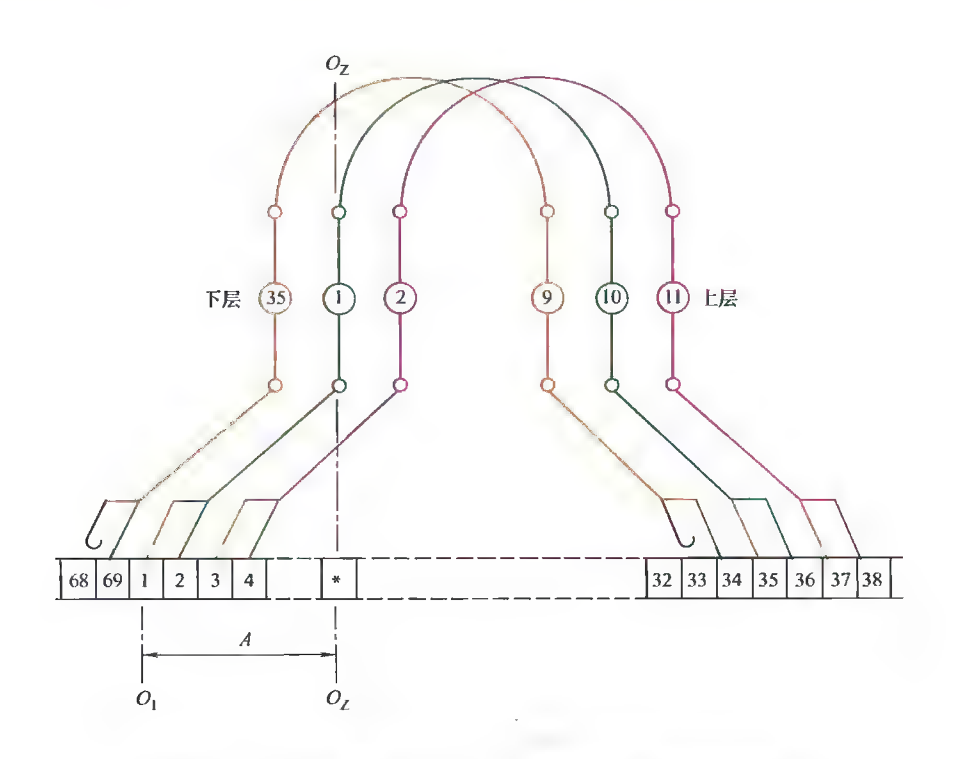


图 5-33　35×2－1 槽 4 极（$y=9$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.10 43×2−1 槽 4 极（$y=11$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=43$　　总元件数 $S=86$

电机极数 $2p=4$　　死元件数 $S_0=1$

换向片数 $K=85$　　实槽节距 $y=11$

每槽元件 $u=2$　　换向节距 $y_K=42$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 11。嵌线顺序见表 5-34。

表 5-34　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	㊸	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33		32		31		30
	上层													1		43		12	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		29		28		27		26		25		24		23		22		21
	上层	11		10		39		38		37		36		35		34		33	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		20		19		18		17		16		15		14		13		12
	上层	32		31		30		29		28		27		26		25		24	
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
槽号	下层		11		10		9		8		7		6		5		4		3
	上层	23		22		21		20		19		18		17		16		15	
嵌绕次序		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86				
槽号	下层		2																
	上层	14		13	12	⑪	10	9	8	7	6	5	4	3	2				

(3) 接线要点与应用举例

本例为长距布线。线圈边 1—12 左侧 2 元件分别接在换向片 1、2；右侧元件分别对应接到换向片 43、44。其余接线类推。具有死元件的线圈嵌于槽 43—11。主要应用实例有冶金起重用直流电机 ZZJ2-72 等。

(4) 绕组端面(局部)布接线图

如图 5-34 所示。

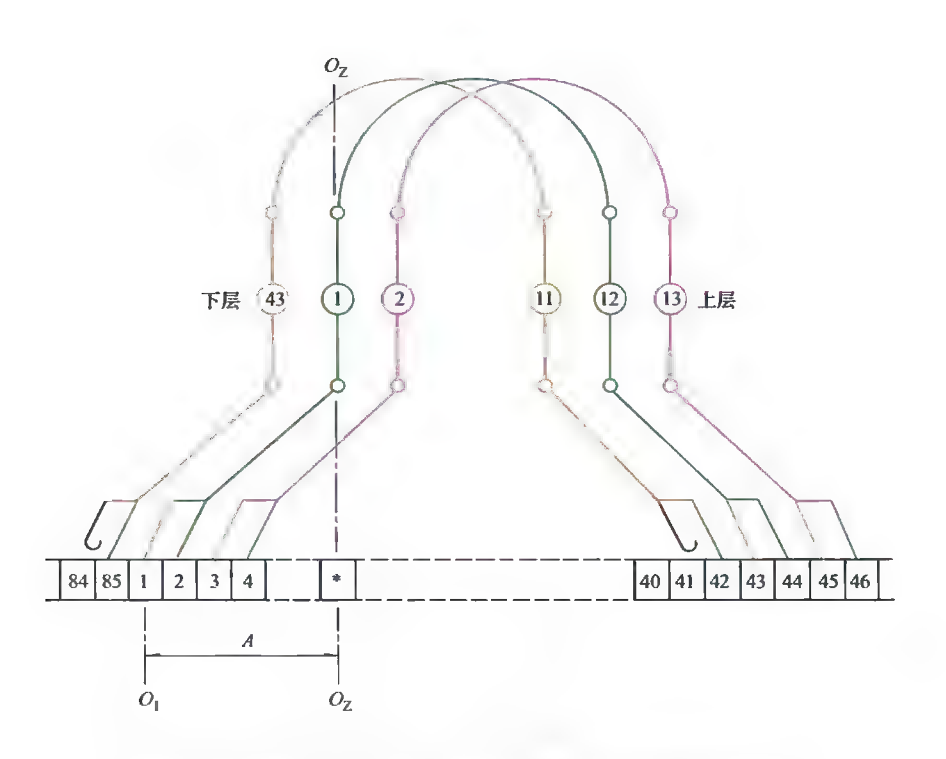


图 5-34 43×2−1 槽 4 极($y=11$)直流电机电枢绕组单波带死元件布线

5.3.11 47×2－1 槽 4 极（$y=12$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数 $Z=47$　　总元件数 $S=94$

电机极数 $2p=4$　　死元件数 $S_0=1$

换向片数 $K=93$　　实槽节距 $y=12$

每槽元件 $u=2$　　换向节距 $y_K=46$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用交叠法嵌线，吊边数为 12。嵌线顺序见表 5-35。

表 5-35 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	1	㊼	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36		35		34		33
	上层														1		47		46	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层		32		31		30		29		28		27		26		25		24	
	上层	45		44		43		42		41		40		39		38		37		36
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层	23		22		21		20		19		18		17		16		15		14
	上层		35		34		33		32		31		30		29		28		27	
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
槽号	下层		13		12		11		10		9		8		7		6		5	
	上层	26		25		24		23		22		21		20		19		18		17
嵌绕次序		77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
槽号	下层	4		3		2														
	上层		16		15		14	13	⑫	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	

(3) 接线要点与应用举例

本例绕组采用长距布线，线圈节距较全距长 1/4 槽。线圈由 2 个元件组成，槽 1—13 线圈左侧元件分别接入换向片 1、2；右侧对应接入换向片 47、48。带死元件的线圈安排在槽 47—12。主要应用实例有 ZZJ2-71 冶金起重用直流电机。

(4) 绕组端面（局部）布接线图

如图 5-35 所示。

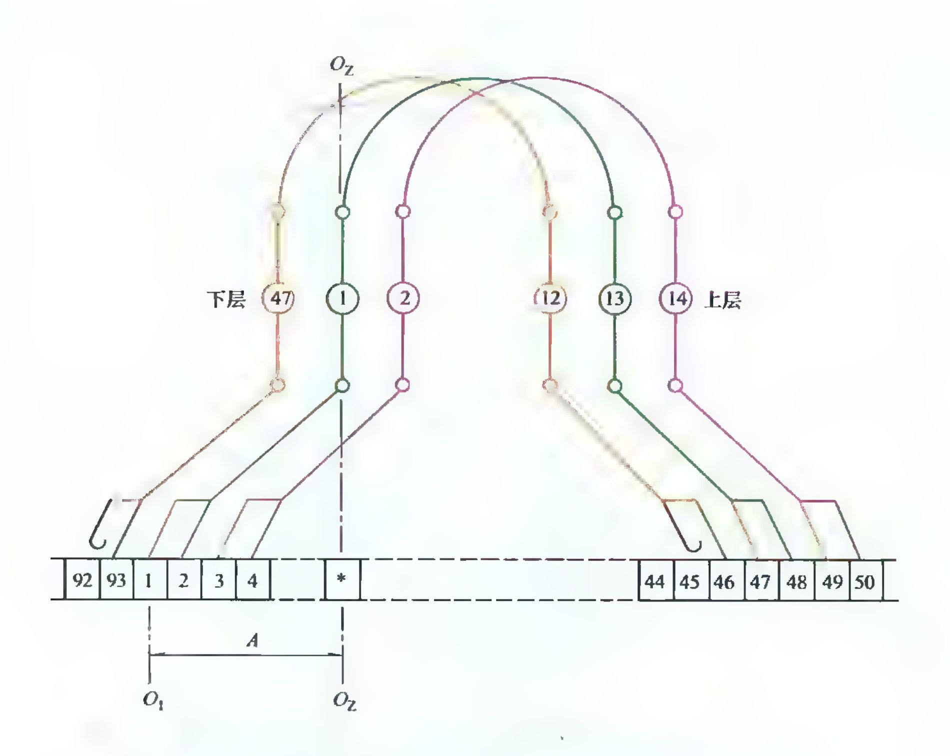


图 5-35　47×2−1 槽 4 极（$y=12$）直流电机电枢绕组单波带死元件布线

第 6 章

移动式（汽、柴油）发电机绕组

移动式发电机是采用汽油机或柴油机为原动力的发电机组。发电机功率为3～250kW，属中小型发电机系列。由于它的体积小、重量轻、移动容易及操作简单方便，再加上现时电网供电时有不足等情况，目前已被广泛用于工厂、医院、商店及住宅小区等作为应急备用电源。由于社会存量极大而维修量很大，修理时常感缺乏发电机绕组图样，故笔者多年来一直寻觅，今幸获资料，并据此采用潘氏画法，绘制成绕组布线接线图，供各位同行修理时参考。

6.1 三相交流发电机双层绕组端面布接线图

本节是移动式发电机中采用双层布线的绕组，共计15例。三相发电机类型主要包括：

① 三相交流发电机　它是旋转磁场式直流励磁发电机，其转子一般具有明显的凸极和集中式绕组，但也有采用隐极的分布式绕组的。励磁电流是直流，它通过集电环输入，故属有刷发电机。这种发电机结构较简单，总长反而小于无刷发电机，故成本相对较低；但有电刷的摩擦接触，维护成本较高，而且对无线电设备产生一定的干扰。它的定子绕组采用双层叠式布线，制造和修理工艺成熟，而出线仅4根。

② 三相交流无刷发电机　它也是旋转磁场式发电机，其结构比有刷发电机复杂。转子由两个绕组构成，一个是集中（或分布）式励磁绕组，是主发电机磁场绕组；另一个是励磁（发电）机电枢绕组，它是嵌于转子上的三相绕组，输出后经整流向励磁绕组供电，故可省去电刷接触机构，故对无线电干扰小。而主发电机定子是三相绕组，它除按三相四线输出之外，还在U相和V相中引出抽头U3、V4，用作AVR（自动电压调节器）信号控制。所以这种发电机的转子总长要比有刷发电机长，而且制造成本也相对稍高；但采用AVR自动调压，其输出稳定、运行可靠，因无电刷接触，使运行维护变得方便。

③ 三次谐波励磁有刷发电机　三次谐波励磁属有刷发电机，它的定子绕组为多个绕组叠合，除定子三相四线的主绕组外，还有三相副绕组和一相的基波绕组；另外还附加一个指示灯绕组。转子则是用集中线圈的凸极式励磁绕组，但其电源取自定子副绕组，经单相整流桥输出，再从电刷-集电环供给励磁能量。这种发电机动态性能较好，转子结构也简单，成本在发电机中最低；但工艺、材料的质量要求较高，容易产

生质量不稳因素。此外，电压波形及调压性能也较差，从而也影响其与电网并列的可靠性，所以适用于独立供电的备用电源。

6.1.1 36 槽 4 极（$y=7$、$a=1$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=36$　电机极数 $2p=4$　总线圈数 $Q=36$

线圈组数 $u=12$　每组圈数 $S=3$　线圈节距 $y=7$

并联路数 $a=1$　绕组接法 Y_0　绕组系数 $K_{dp}=0.902$

出线根数 $c=4$　极相槽数 $q=3$　每槽电角 $\alpha=20°$

（2）嵌线方法

本例属于常规短节距交叠式布线，嵌线时需吊起 7 个上层边，嵌线顺序见表 6-1。

表 6-1　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	32	33	34	35	36	1	2	3		4		5		6		7		8	
	上层									32		33		34		35		36		1
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层	9		10		11		12		13		14		15		16		17		18
	上层		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层		19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	上层	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
槽号	下层	28		29		30		31												
	上层		21		22		23		24	25	26	27	28	29	30	31				

（3）绕组结构与应用举例

本例发电机定子电枢绕组与电动机定子绕组结构几乎一样。即三相结构相同，均由 4 个三圈组按相邻反极性串联起来，不同的是出线仅 4 根，即每相相头引出 3 根，而三相相尾在内连接成星点（中性点）后引出 N 线；此外，一般电动机设计时，根据绕组相序排列，从接线端视向为顺时针旋转，而本例发电机则反之。绕组应用于 T2 系列 H160～180 及 STC 系列 H132-180 三相交流发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图6-1所示。

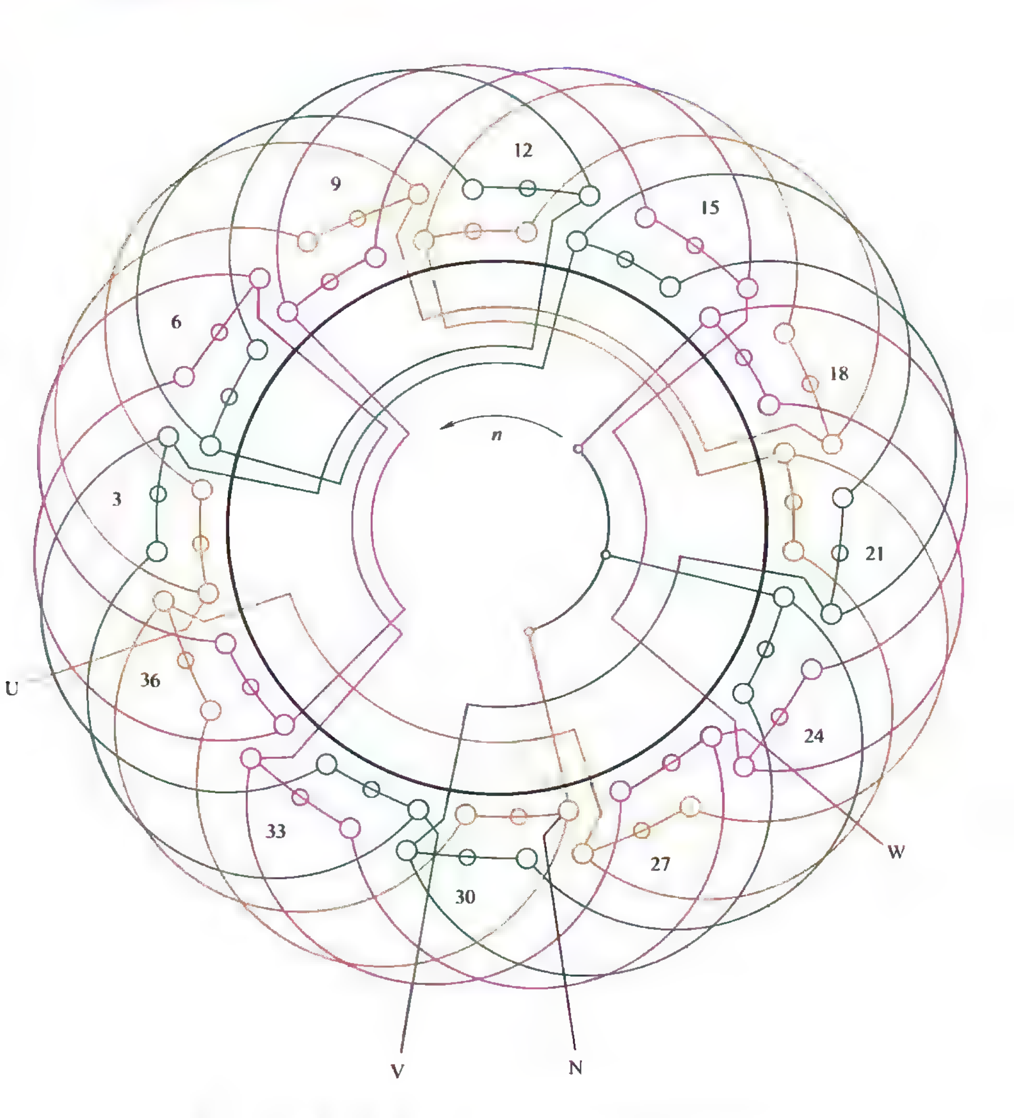


图6-1　36槽4极（$y=7$、$a=1$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.2 36 槽 4 极（$y=7$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=36$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=3$	线圈节距	$y=7$
并联路数	$a=2$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=3$	每槽电角	$\alpha=20°$

（2）嵌线方法

本例是双层叠式绕组，采用交叠嵌线法，但绕制线圈时可考虑每两组连绕，而且留足过线长度，可减少接线数而提高工效。嵌线顺序见表 6-2。

表 6-2 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	32	33	34	35	36	1	2	3		4		5		6		7		8	
	上层									32		33		34		35		36		1
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层	9		10		11		12		13		14		15		16		17		18
	上层		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层		19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	上层	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
槽号	下层	28		29		30		31												
	上层		21		22		23		24	25	26	27	28	29	30	31				

（3）绕组结构与应用举例

绕组结构与上例基本相同，即每相 4 组，每组 3 圈，但采用二路并联接线，故每个支路 2 组线圈，用近跳接线，即相邻两组是反极性串联，从而使每相构成两个支路。绕组引出线 4 根，根据相序排列，发电机为逆时针方向旋转。本例应用于 T2 系列 H200 的 T2-200S、T2-200M 等三相交流发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-2 所示。

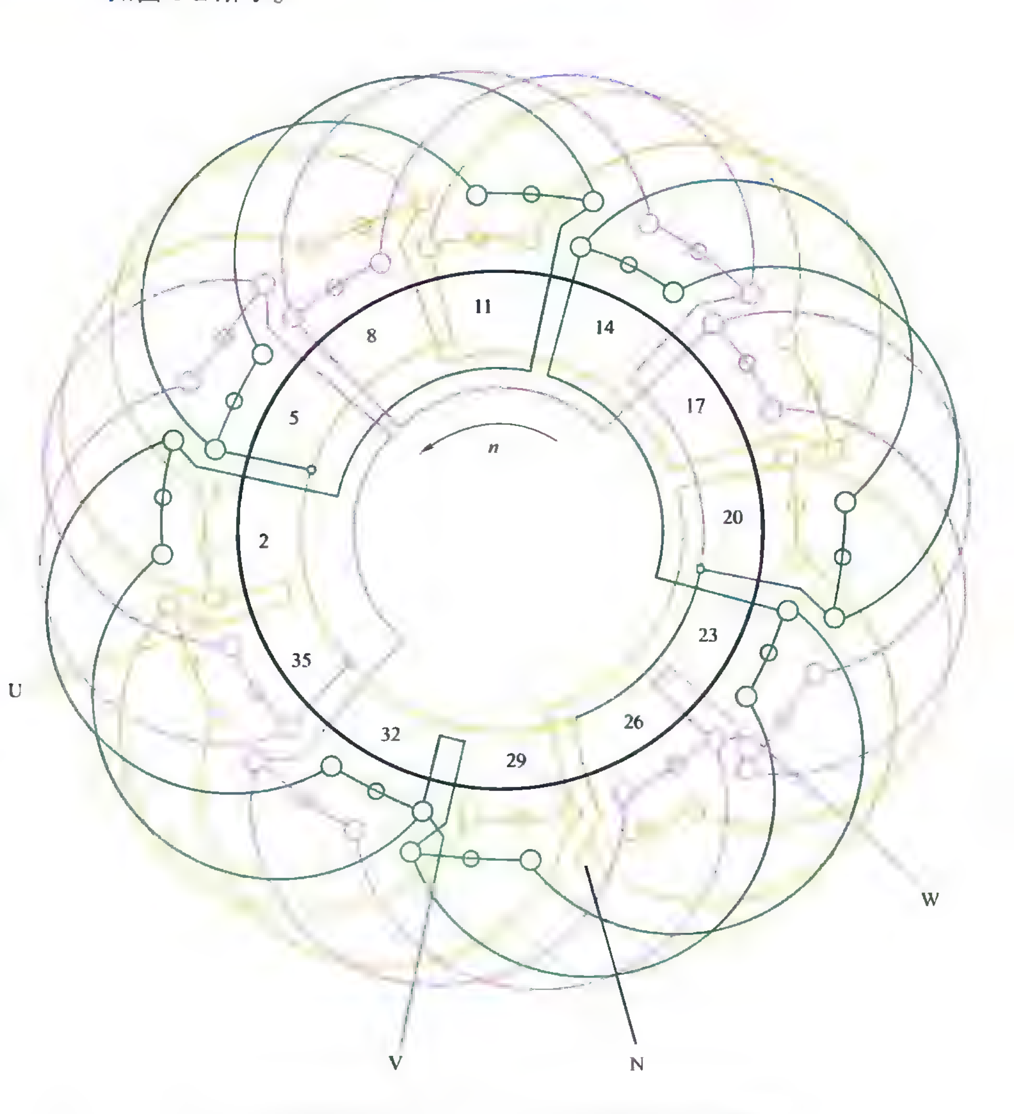


图 6-2　36 槽 4 极（$y=7$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.3 36 槽 4 极（$y=7$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$
总线圈数	$Q=36$	线圈组数	$u=12$
每组圈数	$S=3$	线圈节距	$y=7$
并联路数	$a=4$	绕组接法	Y_0
绕组系数	$K_{dp}=0.902$	极相槽数	$q=3$
每槽电角	$\alpha=20°$	出线根数	$c=4$

（2）嵌组嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，需吊边数为 7。嵌线顺序见表 6-3。

表 6-3 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	35	36	1	2	3	4	5	6		7		8		9		10		11
	上层									35		36		1		2		3	
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		12		13		14		15		16		17		18		19		20
	上层	4		5		6		7		8		9		10		11		12	
嵌绕次序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		21		22		23		24		25		26		27		28		29
	上层	13		14		15		16		17		18		19		20		21	
嵌绕次序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
槽号	下层		30		31		32		33		34								
	上层	22		23		24		25		26		27	28	29	30	31	32	33	34

（3）绕组结构与应用举例

本例绕组由 12 组线圈组成，每相 4 组，每组 3 只线圈，绕组结构与上例相同，但每相有 4 个支路，相邻每支路的线圈组极性相反，即接线时是反向并联。最后由三相绕组引出 3 根出线，三相尾端在机内连接成星点，并将中性线 N 引出机外。根据规定设计，其发电机为逆时针方向旋转。此绕组主要用于 T_2 系列的 T_2-200L 三相交流发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-3 所示。

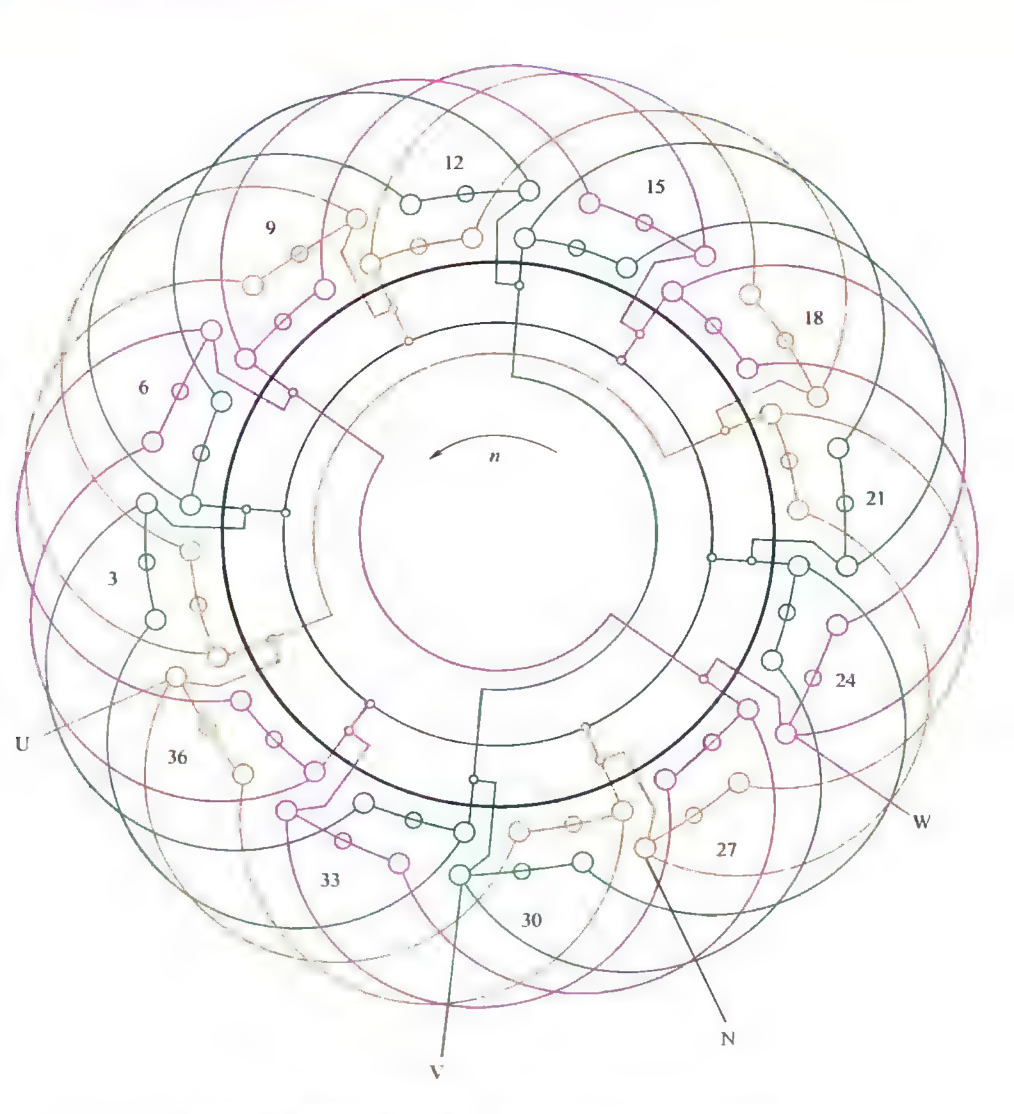


图6-3 36槽4极 ($y=7$、$a=1$) 三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.4 36 槽 4 极（$y=7$、$a=1$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=36$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=3$	线圈节距	$y=7$
并联路数	$a=1$	绕组接法	Y_0+2	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
出线根数	$c=6$	极相槽数	$q=3$	每槽电角	$\alpha=20°$

（2）嵌线方法

本例绕组采用双层交叠法嵌线，首先顺次嵌入 7 只线圈的下层线圈边，从第 8 只线圈起开始整嵌，当下层槽嵌完之后，再把原来吊起的上层边依次嵌入。嵌线顺序见表 6-4。

表 6-4 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	32	33	34	35	36	1	2	3		4		5		6		7		8	
	上层									32		33		34		35		36		1
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层	9		10		11		12		13		14		15		16		17		18
	上层		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层		19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	上层	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
槽号	下层	28		29		30		31												
	上层		21		22		23		24	25	26	27	28	29	30	31				

（3）绕组结构与应用举例

发电机绕组采用一路串联接法，每相由 4 组线圈按相邻反极性串联。三相接线是 Y_0，即引出相线 U、V、W，另加一根零（N）线；另外，再从 U、V 相绕组的中间抽出 U3、V4，即发电机共引出线 6 根。此绕组主要应用于 TFW2-180S、TFW2-180M、TFW2-180L 及 JWW-180 等三相交流无刷发电机绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-4 所示。

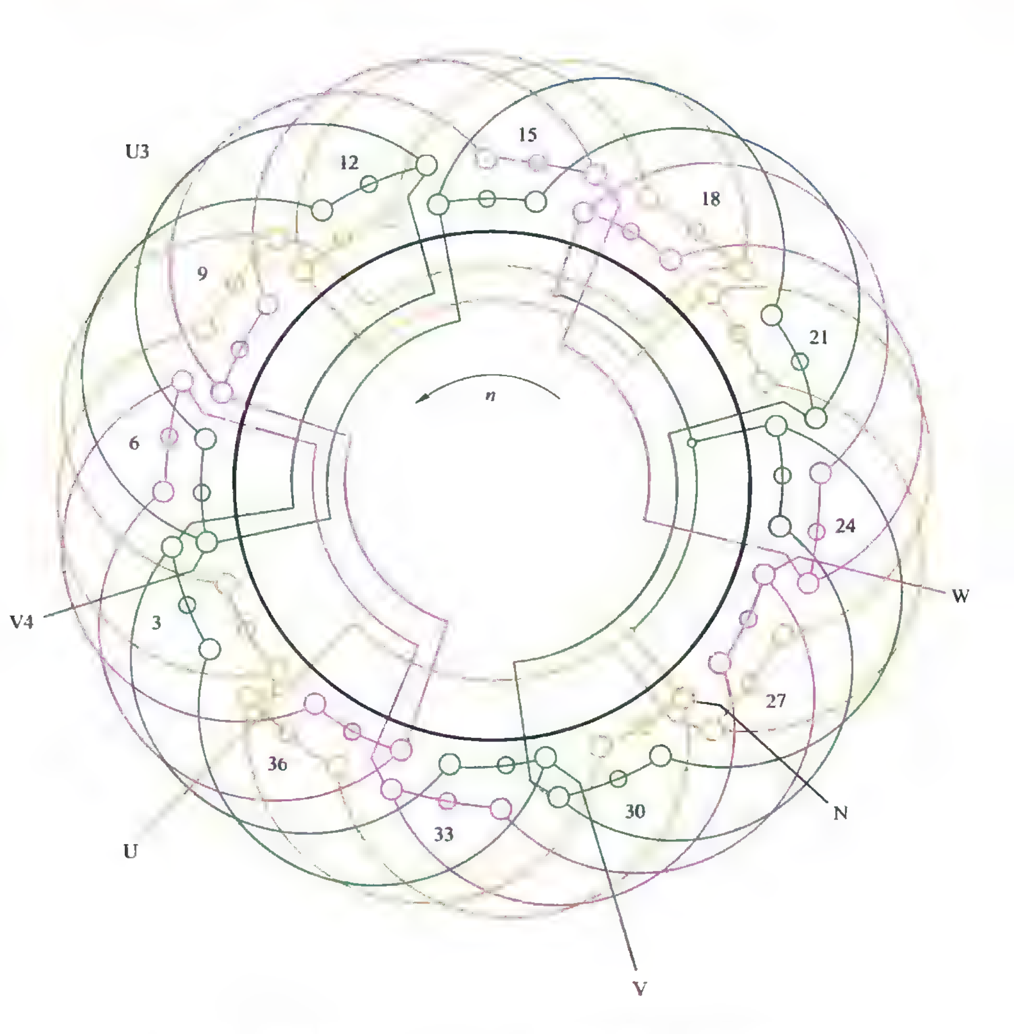


图 6-4 36 槽 4 极（$y=7$、$a=1$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

6.1.5 36 槽 4 极（$y=7$、$a=2$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=36$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=3$	线圈节距	$y=7$
并联路数	$a=2$	绕组接法	Y_0+2	绕组系数	$K_{dp}=0.902$
出线根数	$c=6$	极相槽数	$q=3$	每槽电角	$\alpha=20°$

（2）嵌线方法

本例采用双层交叠法嵌线，逐个嵌入线圈下层边，另边吊起，嵌至第 8 只线圈开始嵌入上层边，当全部线圈的下层边嵌完后，再顺次把原来的吊边嵌入相应槽的上层，直至完成。嵌线顺序见表 6-5。

表 6-5　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	32	33	34	35	36	1	2	3		4		5		6		7		8	
	上层									32		33		34		35		36		1
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层	9		10		11		12		13		14		15		16		17		18
	上层		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层		19		20		21		22		23		24		25		26		27	
	上层	11		12		13		14		15		16		17		18		19		20
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
槽号	下层	28		29		30		31												
	上层		21		22		23		24	25	26	27	28	29	30	31				

（3）绕组结构与应用举例

本例绕组由 12 组线圈组成，每组 3 圈。每组分为两个支路，由相头进线后向左右两边走线。三相首端引出，尾端连接成星点，并引出机外作为发电机的中性线 N；另外还从 U 相和 V 相第一支路的中间抽出 U3 和 V4。本例主要应用实例有 TFW2-200S、TFW2-200M、TFW-200L 三相交流无刷发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-5 所示。

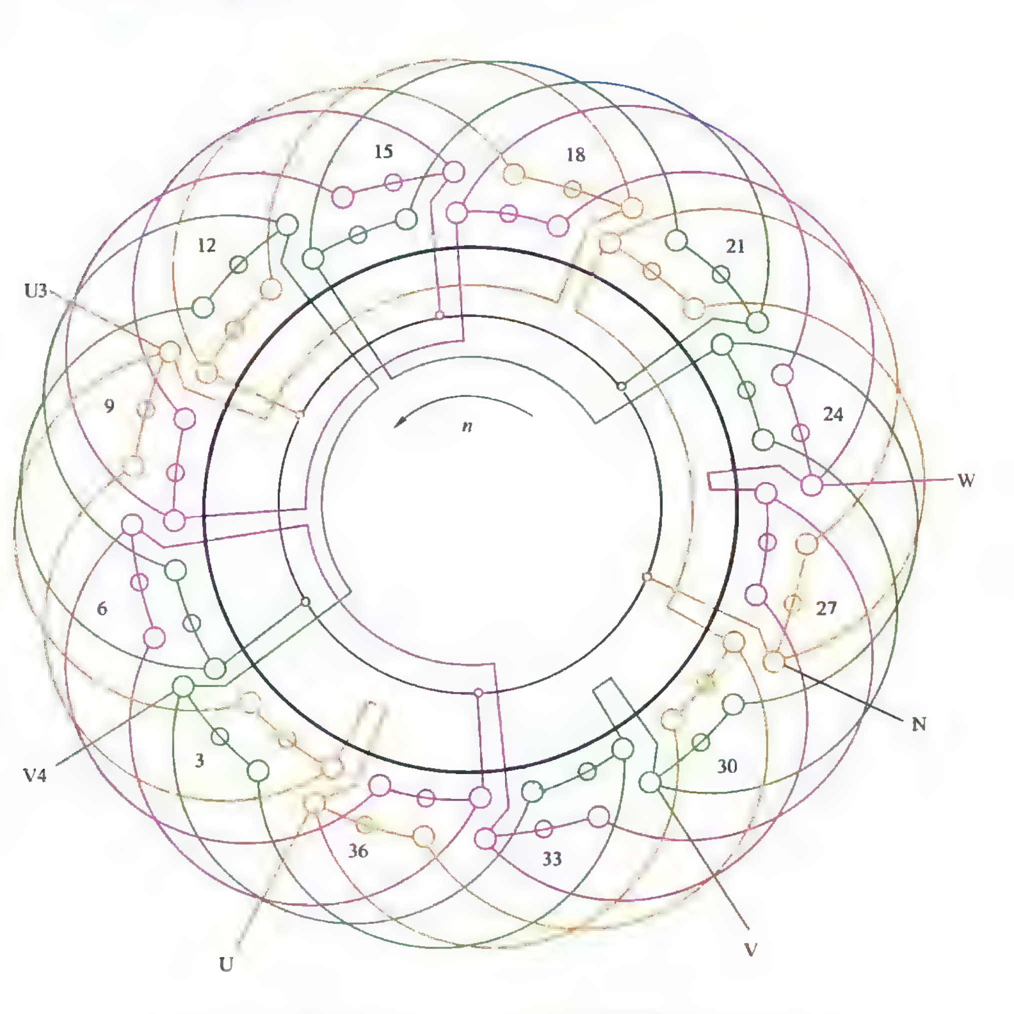


图 6-5　36 槽 4 极（$y=7$、$a=2$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

6.1.6 36 槽 4 极（$y=8$、$a=1$）三次谐波励磁三相交流有刷发电机定子绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=36$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=3$	线圈节距	$y=8$
并联路数	$a=1$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.946$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=3$	每槽电角	$\alpha=20°$

(2) 嵌线方法

本例采用交叠法嵌线，需吊边数为 8，即顺序嵌入 8 只线圈下层边，其上层边暂时吊起不嵌，从第 9 只线圈开始整嵌，当全部槽的下层嵌满后，再把原来吊边嵌入相应槽的上层。嵌线顺序见表 6-6。

表 6-6　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	33	34	35	36	1	2	3	4	5		6		7		8		9		10
	上层										33		34		35		36		1	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	下层		11		12		13		14		15		16		17		18		19	
	上层	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
槽号	下层	20		21		22		23		24		25		26		27		28		29
	上层		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
嵌绕次序		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
槽号	下层		30		31		32													
	上层	21		22		23		24	25	26	27	28	29	30	31	32				

(3) 绕组结构与应用举例

绕组由 36 只线圈组成，每相分 4 组，采用一路串联常规接线，即相邻线圈组反极性连接，而每组 3 只线圈。全绕组引出线 4 根，其中 3 根是发电机相线，一根是中性线 N。此绕组主要应用于 STC-200 三相交流有刷发电机三次谐波励磁定子主绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-6 所示。

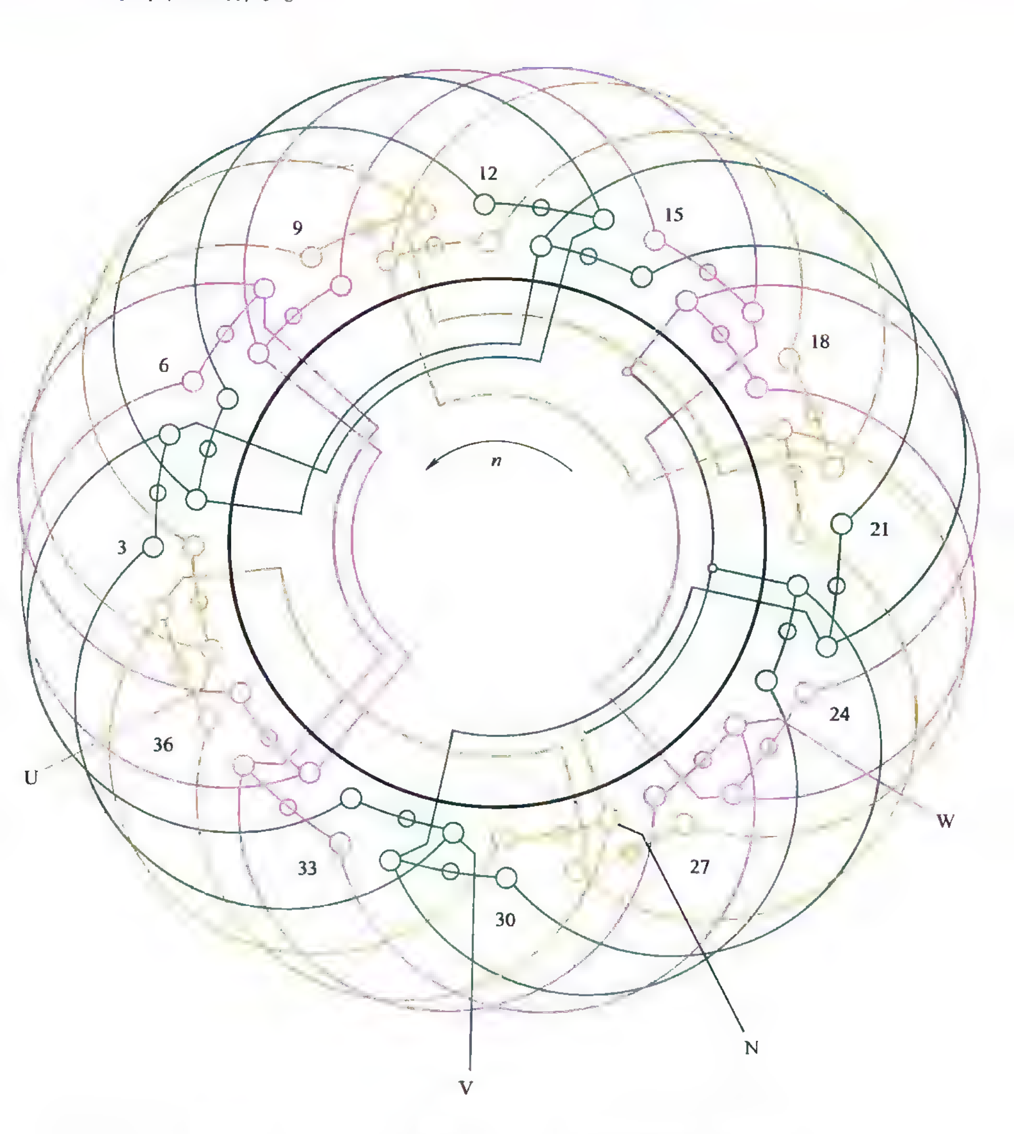


图 6-6　36 槽 4 极（$y=8$、$a=1$）三次谐波励磁三相交流有刷发电机定子绕组双层叠式布线

6.1.7 48槽4极（$y=9$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=48$ 电机极数 $2p=4$ 总线圈数 $Q=48$

线圈组数 $u=12$ 每组圈数 $S=4$ 线圈节距 $y=9$

并联路数 $a=2$ 绕组接法 Y_0 绕组系数 $K_{dp}=0.885$

出线根数 $c=4$ 极相槽数 $q=4$ 每槽电角 $\alpha=15°$

(2) 嵌线方法

本例绕组采用双层交叠法嵌线，即先按次序嵌入9只线圈的下层边，另边暂时吊起，至第10只线圈起开始整嵌，嵌满下层槽后再把原来的吊边顺次嵌入相应槽的上层。嵌线顺序见表6-7。

表6-7 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	42	43	44	45	46	47	48	1	2	3		4		5		6		7	
	上层											42				44		45		46
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	……			72	73	74	75	76	77
槽号	下层	8		9		10		11		12		……			34		35		36	
	上层		47		48		1		2		3	……				25		26		27
嵌绕次序		78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
槽号	下层	37		38		39		40		41										
	上层		28		29		30		31		32	33	34	35	36	37	38	39	40	41

(3) 绕组结构与应用举例

本例是双层叠式4极绕组，每相由4组线圈组成，分二支路从相反方向走线，每支路的两组线圈是反极性串联。三相首端引出为发电机相线，尾端连接成星点并引出中性线N。此绕组的线圈节距较短，故吊边数相对较少而利于嵌线，但绕组系数较低。主要应用于T2-225M和T2-225L三相交流发电机绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-7 所示。

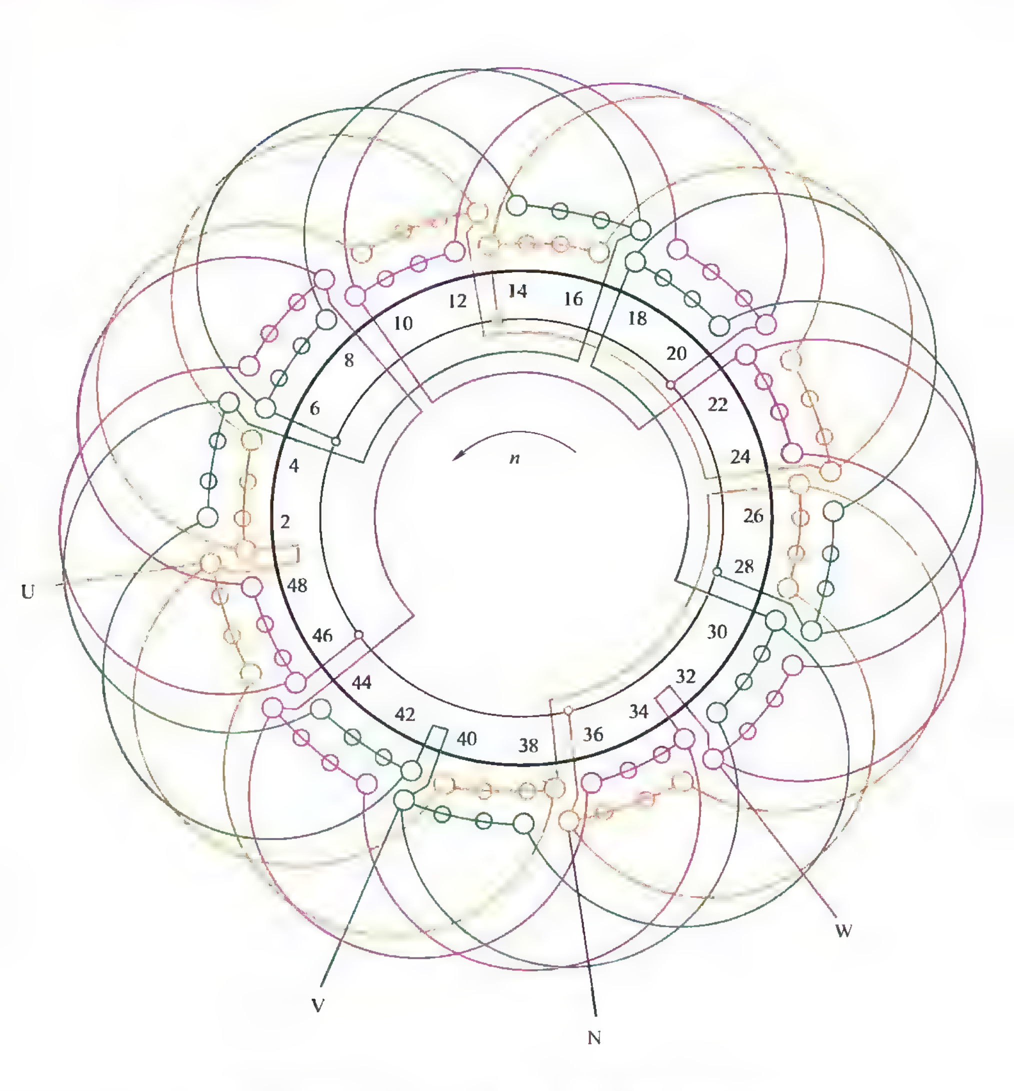


图 6-7　48 槽 4 极（$y=9$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.8 48槽4极（$y=10$、$a=2$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=48$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=48$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=4$	线圈节距	$y=10$
并联路数	$a=2$	绕组接法	Y_0+2	绕组系数	$K_{dp}=0.92$
出线根数	$c=6$	极相槽数	$q=4$	每槽电角	$\alpha=15°$

（2）嵌线方法

本例绕组嵌线采用交叠法，先顺次嵌入10个线圈的下层边，另边吊起，从第11只线圈开始整嵌，直至全部槽的下层边嵌满后，再把原来的吊边顺次嵌入相应槽的上层。嵌线顺序见表6-8。

表6-8 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	43	44	45	46	47	48	1	2	3	4	5		6		7		8		9
	上层												43		44		45		46	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	……			71	72	73	74	75	76	77
槽号	下层		10		11		12		13		……			35		36		37		38
	上层	47		48		1		2		3	……				25		26		27	
嵌绕次序		78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
槽号	下层		39		40		41		42											
	上层	28		29		30		31		32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

（3）绕组结构与应用举例

本例是无刷发电机定子绕组，采用二路并联接线，每相有两支路，每支路由两个四联组构成，接入（AVR）自动电压调节器信号线U3、V4，由U相和V相第一支路的中间抽出。因此，连同发电机三相输出的N线，共引出线6根。绕组主要应用于TFW2-225S、TFW2-225M、TFW2-225L和TFW2-280S、TFW2-280M、TFW2-280L等三相交流无刷发电机。

（4）绕组端面布接线图

如图 6-8 所示。

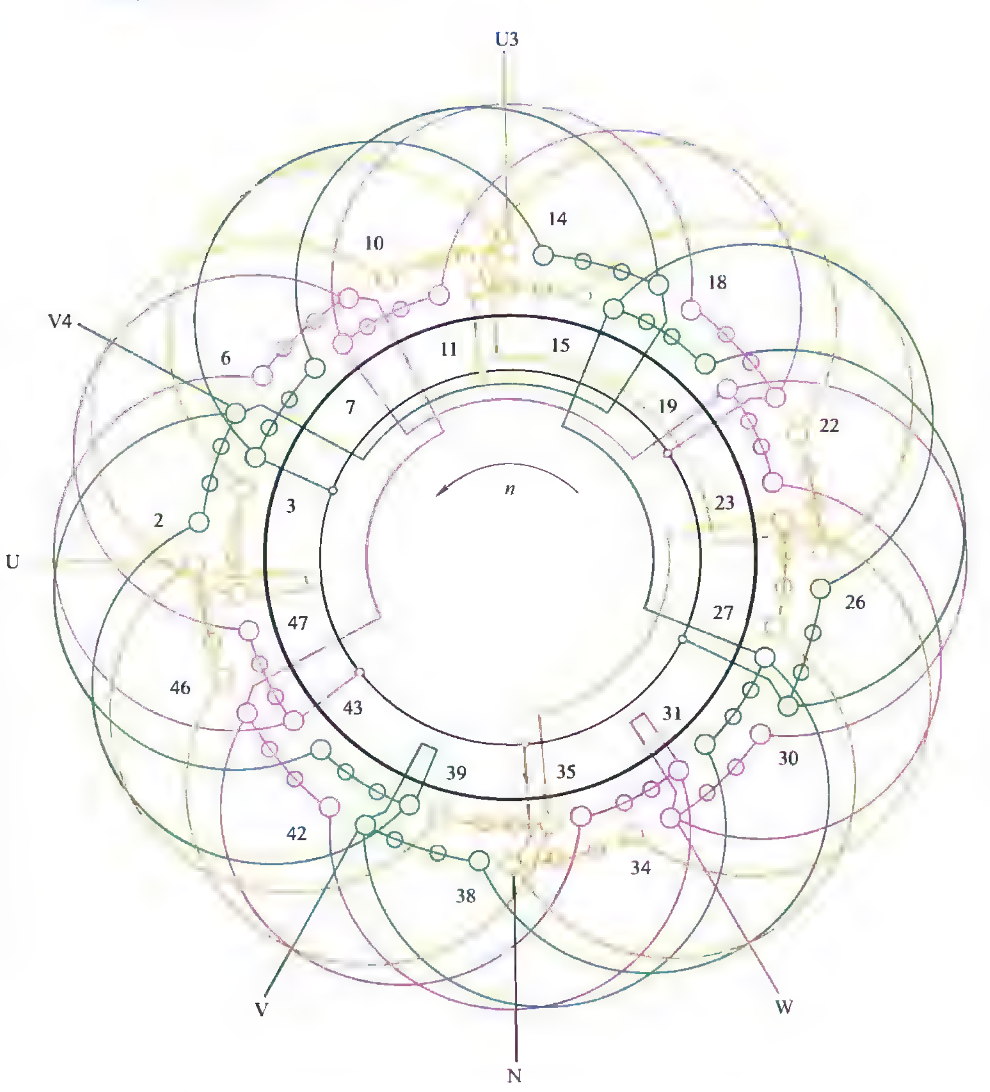


图 6-8　48 槽 4 极（$y=10$、$a=2$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

6.1.9 48槽4极（$y=10$、$a=4$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=48$　　电机极数 $2p=4$　　总线圈数 $Q=48$

线圈组数 $u=12$　　每组圈数 $S=4$　　线圈节距 $y=10$

并联路数 $a=4$　　绕组接法 Y_0+2　　绕组系数 $K_{dp}=0.92$

出线根数 $c=6$　　极相槽数 $q=4$　　每槽电角 $\alpha=15°$

(2) 嵌线方法

绕组采用交叠法嵌线，先按次序嵌入10只线圈的下层边，另边吊起暂不嵌入，至第11只线圈开始相继嵌入两边，当嵌满48只线圈的下层边后，再把原来的吊边嵌到相应槽的上层。嵌线顺序见表6-9。

表6-9　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	17	48	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10		11		12		13
	上层												47		48		1		2	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	……			73	74	75	76	77
槽号	下层		14		15		16		17		18		……			40		41		42
	上层	3		4		5		6		7		8	……				30		31	
嵌绕次序		78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
槽号	下层		43		44		45		46											
	上层	32		33		34		35		36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46

(3) 绕组结构与应用举例

发电机绕组采用双层叠式，每组由四联线圈组成，每相有4组并按相邻反极性并接成4路，即每一线圈组为一个支路。绕组接法为Y_0+2，即定子绕组为星形接法，引出U、V、W相线及中性线N（零线），另在U相和V相的第1支路中间（即第2、3线圈之间）抽头U3、V4。此绕组主要应用于TFW2-400S、TFW2-400M、TFW2-400L1和TFW2-400L2等三相交流无刷发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-9 所示。

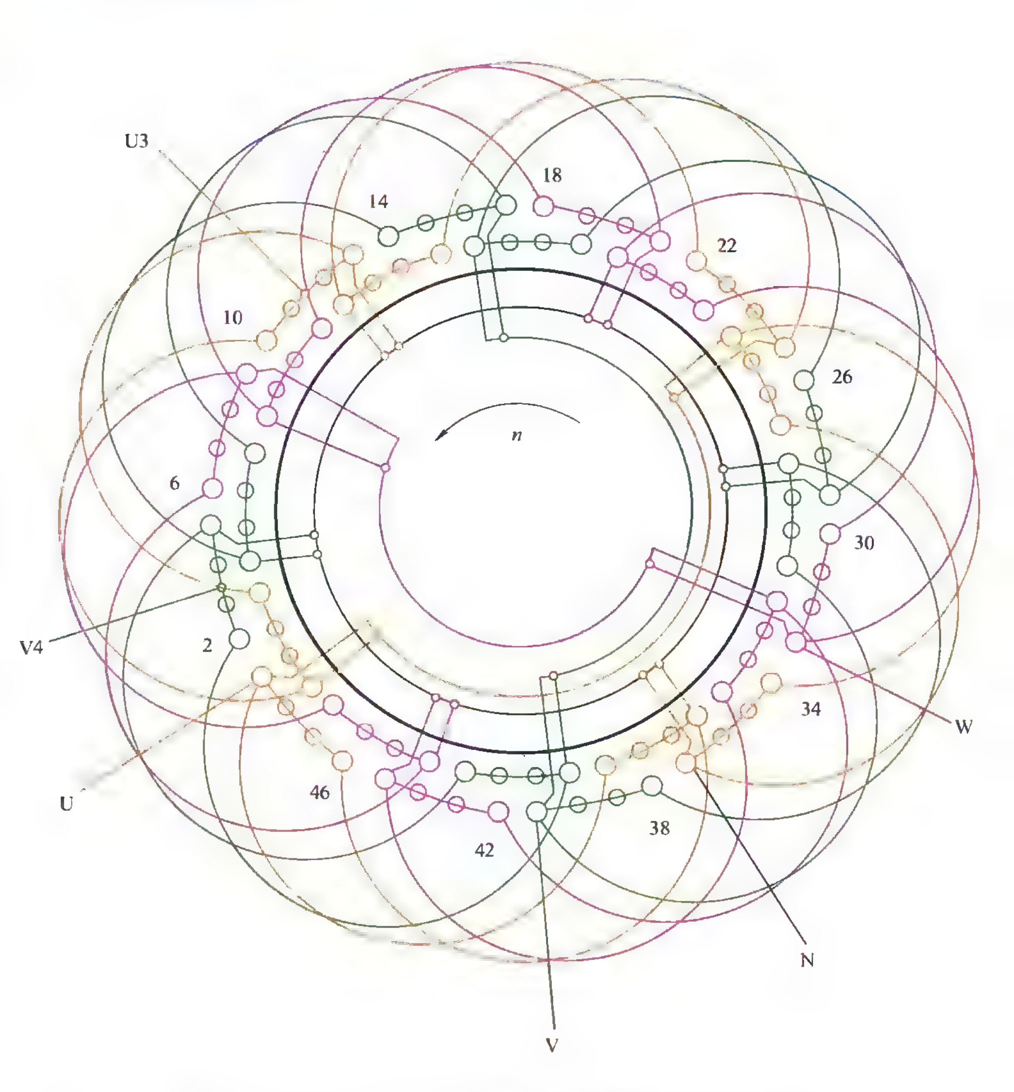


图 6-9　48 槽 4 极（$y=10$、$a=4$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

6.1.10 60 槽 4 极（$y=11$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=60$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=5$	线圈节距	$y=11$
并联路数	$a=2$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.875$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=5$	每槽电角	$\alpha=12°$

（2）嵌线方法

本例绕组是双层布线，故采用吊边交叠嵌线。嵌线顺序见表 6-10。

表 6-10 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	52	53	54	55	56	57	58	59	60	1	2	3		4		5		6	
	上层													52		53		54		55
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	……			94	95	96	97	98	99	100	101
槽号	下层	7		8		9		10		……			44		45		46		47	
	上层		56		57		58		59	……				33		34		35		36
嵌绕次序		102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层	48		49		50		51												
	上层		37		38		39		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

（3）绕组结构与应用举例

本例是 60 槽 4 极绕组，接线采用二路并联，每相绕组从进线端（U、V、W）接入后向相反两个方向走线，即每个支路分别由 2 组极性相反的五联线圈组构成；三相绕组尾端连接成星点，并引出中性线 N。此绕组取自 T2-250L 三相交流发电机。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-10 所示。

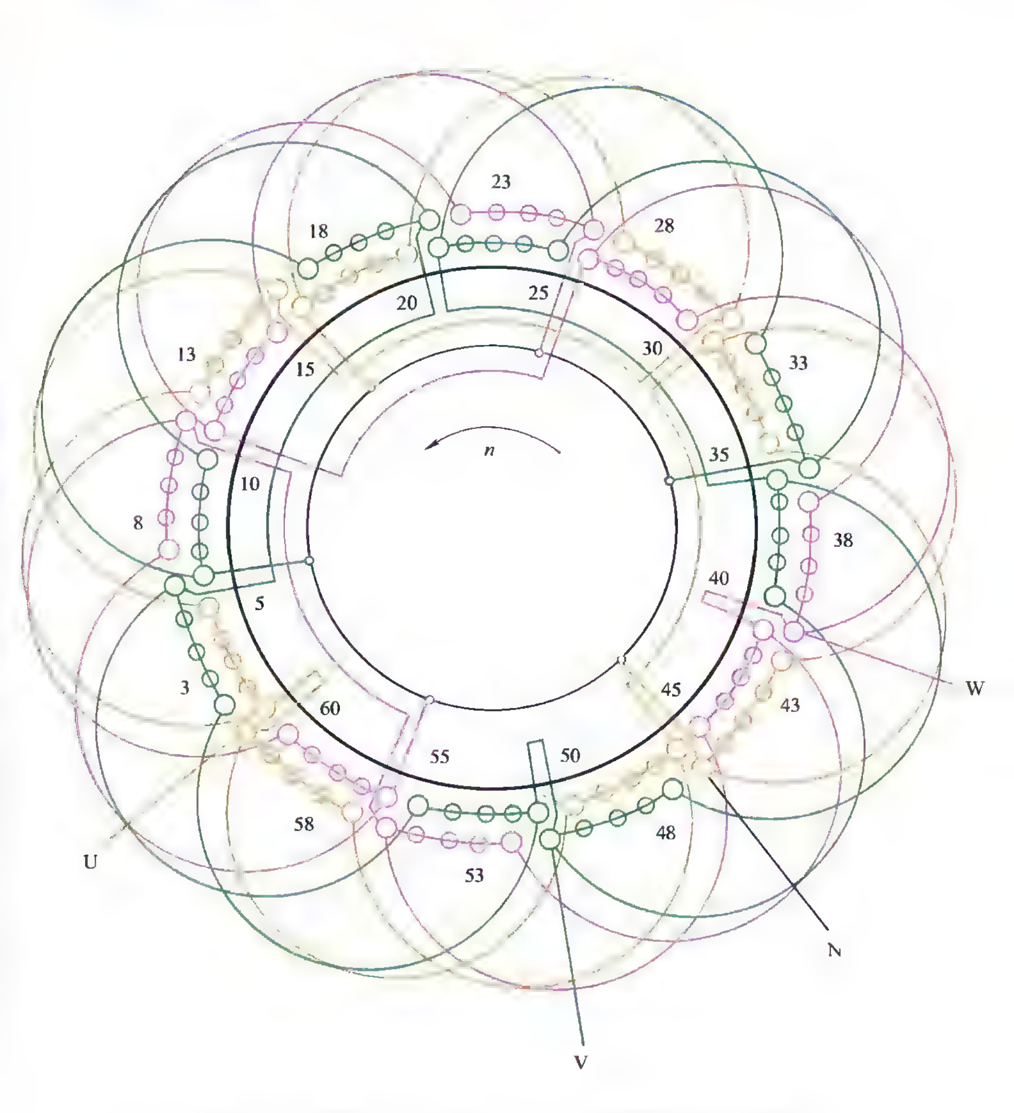


图 6-10 60 槽 4 极（$y=11$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.11 60 槽 4 极（$y=11$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=60$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=5$	线圈节距	$y=11$
并联路数	$a=4$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.875$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=5$	每槽电角	$\alpha=12°$

（2）嵌线方法

本例采用双层叠绕，先将每组 5 只线圈连绕，然后采用交叠法嵌线。一般可从 W 相起嵌，逐个嵌入下层边，而上层边吊起，当嵌完 11 个线圈的下层边后，从 12 号线圈开始上、下层整嵌。嵌线顺序见表 6-11。

表 6-11 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	52	53	54	55	56	57	58	59	60	1	2	3		4		5		6	
	上层													52		53		54		55
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	······			93	94	95	96	97	98	99	100	101
槽号	下层	7		8		9		10	······				44		45		46		47	
	上层		56		57		58		······			32		33		34		35		36
嵌绕次序		102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层	48		49		50		51												
	上层		37		38		39		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

（3）绕组结构与应用举例

本例是双层叠式绕组，每组由 5 只线圈组成，采用四路并联接线，即每组线圈各自构成一个支路，而三相头端引出 U、V、W，全部相尾连接起来成为星点并引出中性线 N。此绕组主要应用于 T2-250M 三相交流发电机。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-11 所示。

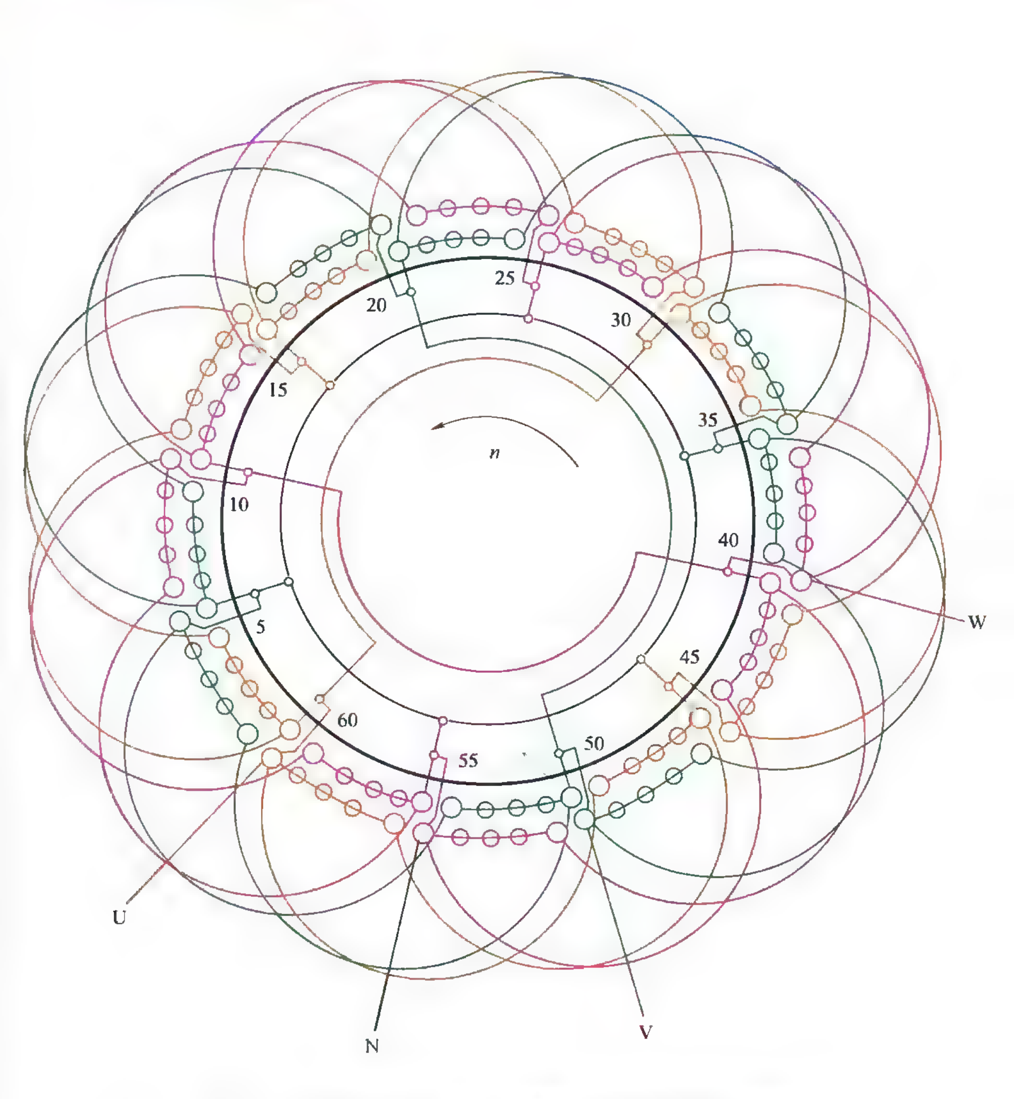


图 6-11　60 槽 4 极（$y=11$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.12 60槽4极（$y=12$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=60$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=5$	线圈节距	$y=12$
并联路数	$a=4$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.91$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=5$	每槽电角	$\alpha=12°$

(2) 嵌线方法

绕组采用双层交叠法嵌线，顺次嵌下12只线圈的下层边，并将其上层边暂时吊起，从第13只线圈起进行整嵌，最后待全部下层边嵌完后，再依次把原来的吊边嵌入相应槽的上层边。嵌线顺序见表6-12。

表6-12 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	58	59	60	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11		12		13
	上层														58		59		60	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	……			94	95	96	97	98	99	100	101
槽号	下层	14	15	16	17	18	19	20	21	……				51		52		53		54
	上层	1		2		3		4		……			38		39		40		41	
嵌绕次序		102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层		55		56		57													
	上层	42		43		44		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57

(3) 绕组结构与应用举例

本例双层绕组由60只线圈组成，每相20只线圈分4个并联支路，每一支路由5只线圈顺串成一组，三相首端引出U、V、W，所有线圈组的尾端连接成星点，并引出发电机中性线N。此绕组主要应用于T2系列中心高H355的T2-355S、T2-355M和T2-355L等三相交流发电机绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-12 所示。

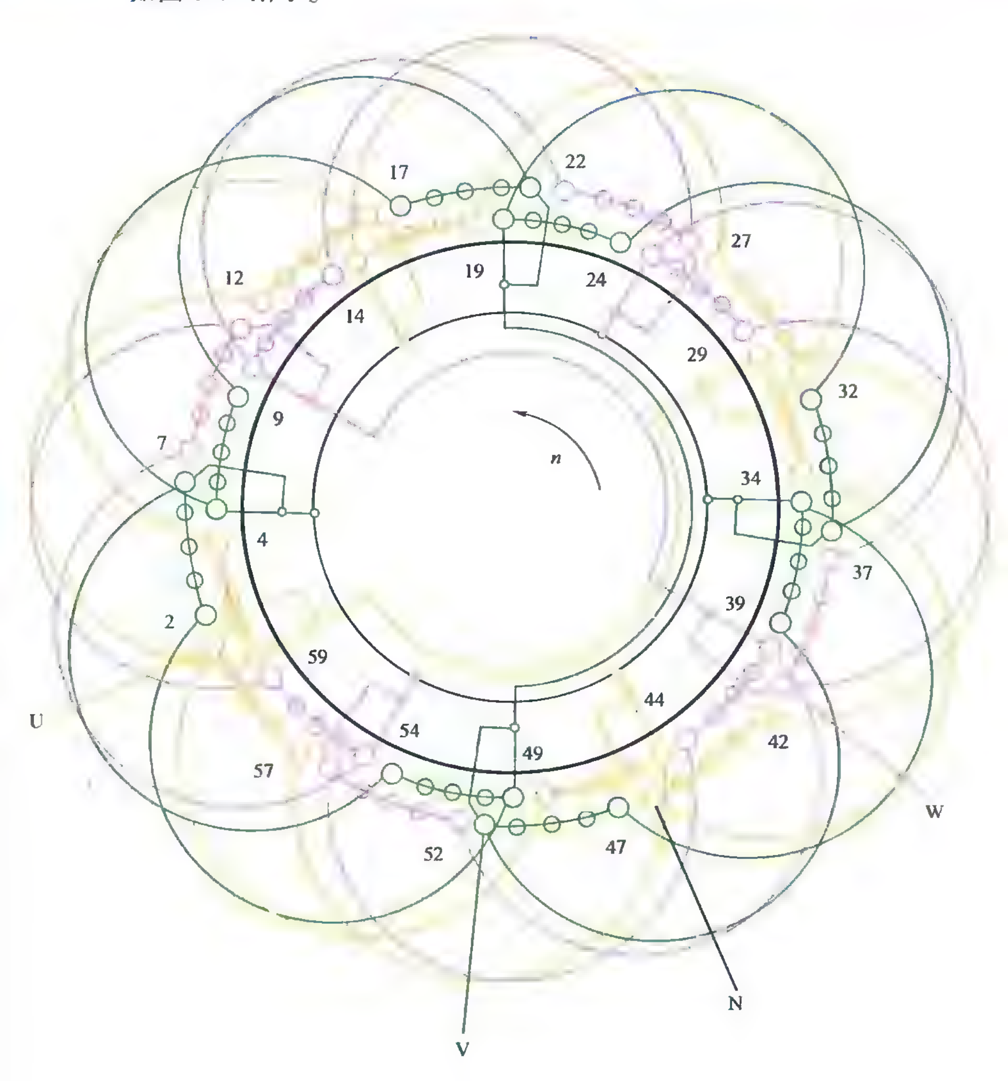


图 6-12　60 槽 4 极（$y=12$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.13 60槽4极（$y=12$、$a=4$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=60$　　电机极数 $2p=4$

总线圈数 $Q=60$　　线圈组数 $u=12$

每组圈数 $S=5$　　线圈节距 $y=12$

并联路数 $a=4$　　绕组接法 Y_0+2

绕组系数 $K_{dp}=0.91$　　极相槽数 $q=5$

每槽电角 $\alpha=12°$　　出线根数 $c=6$

（2）嵌线方法

本绕组采用双层交叠法嵌线，先将12只线圈下层边嵌入相应槽的下层，随之整圈嵌第13只线圈，以后顺次整嵌各线圈上、下层边，当下层边嵌满后，再将先前吊起的上层边顺次嵌入相应槽的上层。此外，U、V两相第1组线圈中的第3只线圈有一个中间抽头U3、V4，重绕拆线时要记录好抽头匝数的原始数据，嵌线时要按图嵌入，不得出错。嵌线顺序见表6-13。

表6-13 交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16		17	
	上层														3		4		5
嵌绕次序		19	20	21	22	23	24	25	26	……		95	96	97	98	99	100	101	102
槽号	下层	18		19		20		21		……		56		57		58		59	
	上层		6		7		8		9	……			44		45		46		47
嵌绕次序		103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层	60		1		2													
	上层		48		49		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	1	2

（3）绕组结构与应用举例

本例是无刷发电机绕组，除引出3根相线和1根N线之外，与一般四路并联电机绕组无异，唯一不同的是它在U、V相中有一个自动电压调节的抽头U3、V4。此绕组应用于TFW2-400S、TFW2-400M、TFW2-400L1及TFW2-400L2等无刷交流发电机。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-13 所示。

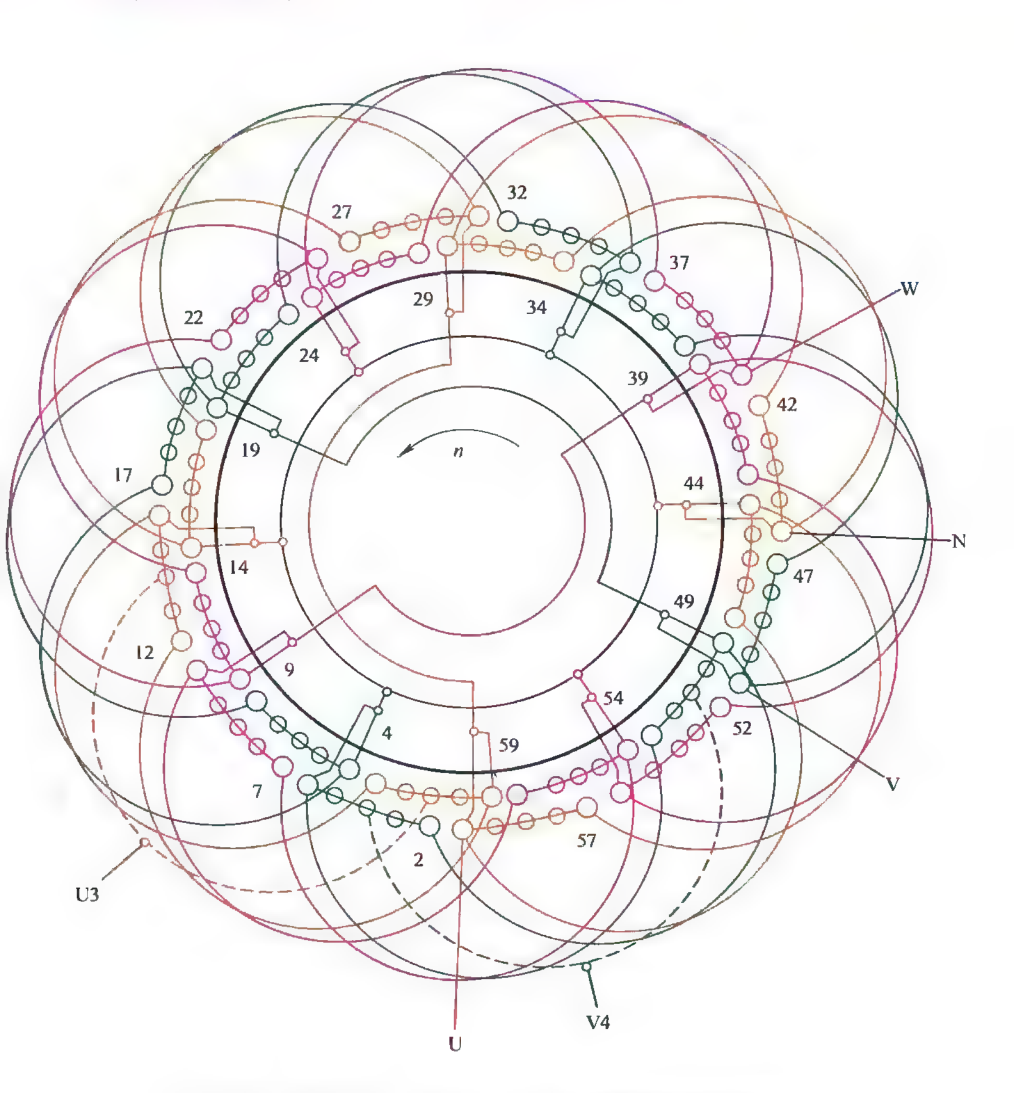


图 6-13　60 槽 4 极（$y=12$、$a=4$）三相交流无刷发电机绕组双层叠式布线

6.1.14 60 槽 4 极（$y=13$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=60$　　电机极数 $2p=4$　　总线圈数 $Q=60$

线圈组数 $u=12$　　每组圈数 $S=5$　　线圈节距 $y=13$

并联路数 $a=2$　　绕组接法 Y_0　　绕组系数 $K_{dp}=0.936$

出线根数 $c=4$　　极相槽数 $q=5$　　每槽电角 $\alpha=12°$

(2) 嵌线方法

本例采用双层交叠法嵌线，为便于连绕嵌线，最好从 W 相嵌起。嵌线时先将 13 只线圈的有效边嵌入相应槽的下层，至第 14 只线圈起开始上、下两边整嵌，当下层边全部嵌满后，再把原来吊起的上层边顺次嵌入相应槽的上层。嵌线顺序见表 6-14。

表 6-14　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	54	55	56	57	58	59	60	1	2	3	4	5	6	7		8		9	
	上层															54		55		56
嵌绕次序		20	21	22	23	24		……		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
槽号	下层	10		11		12		……			46		47		48		49		50	
	上层		57		58			……		32		33		34		35		36		37
嵌绕次序		102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层	51		52		53														
	上层		38		39		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53

(3) 绕组结构与应用举例

本绕组较前面的例子采用较大的节距，故绕组系数较高。每相有两个支路，每支路由两组五联组按反极性串联而成；接线时则在进线后向左右两方向走线，从而较合理地缩短连接过线。绕组出线 4 根，其中 3 根是相线，另一根为中性线 N。此绕组主要应用于 T2 系列的 T2-280L 三相交流发电机绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-14 所示。

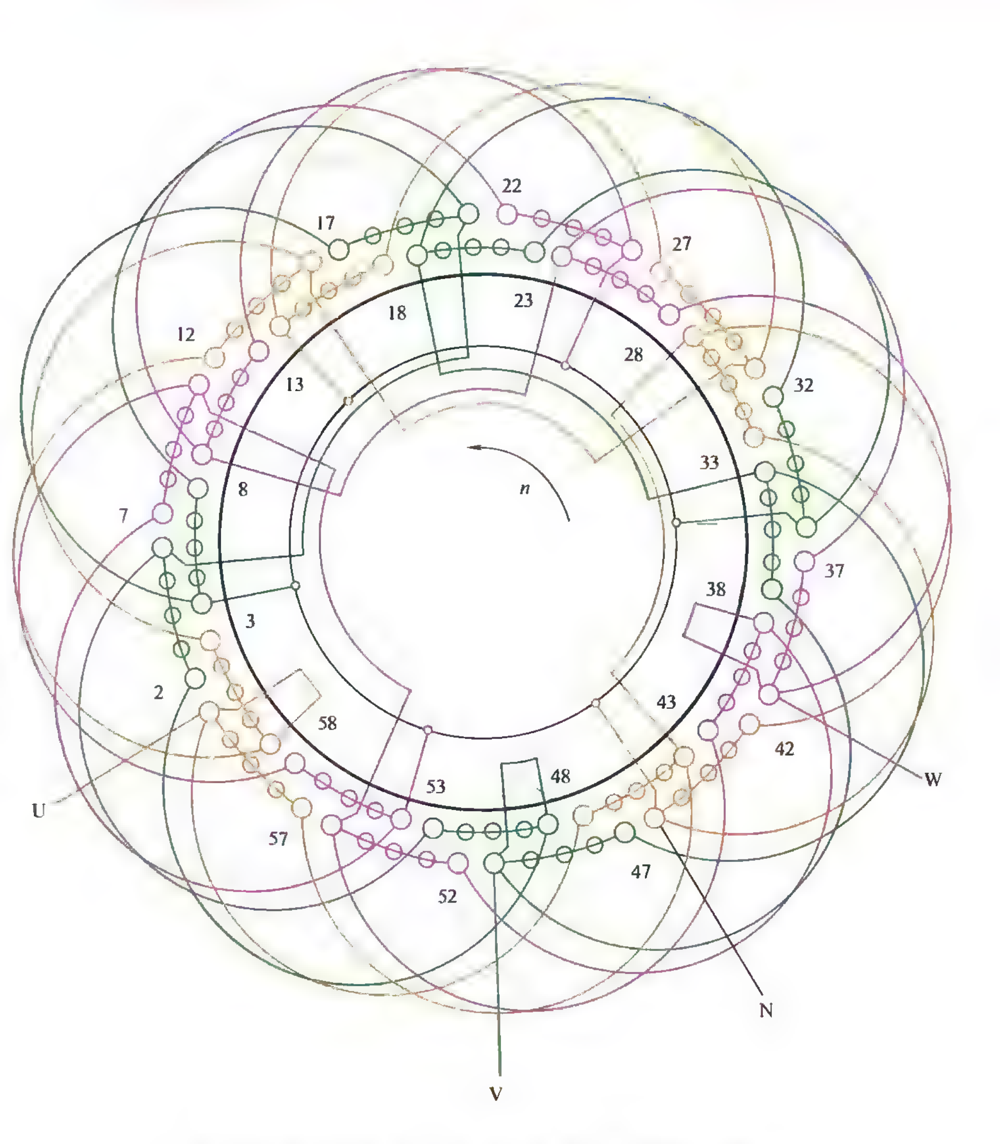


图 6-14　60 槽 4 极（$y=13$、$a=2$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.1.15　60 槽 4 极（$y=13$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=60$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=60$
线圈组数	$u=12$	每组圈数	$S=5$	线圈节距	$y=13$
并联路数	$a=4$	绕组接法	Y_0	绕组系数	$K_{dp}=0.936$
出线根数	$c=4$	极相槽数	$q=5$	每槽电角	$\alpha=12°$

(2) 嵌线方法

本例是双层叠式绕组，嵌线采用交叠法。先将 13 个线圈的下层边嵌入相应槽内，另边吊起暂不嵌入，当嵌至第 14 只线圈起进行整嵌，直到下层边嵌满后，再把原来吊起的线圈边嵌入相应槽的上层。嵌线顺序见表 6-15。

表 6-15　交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	54	55	56	57	58	59	60	1	2	3	4	5	6	7		8		9	
	上层															54		55		56
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		......		97	98	99	100	101
槽号	下层	10		11		12		13		14		15		......			49		50	
	上层		57		58		59		60		1			......		35		36		37
嵌绕次序		102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
槽号	下层	51		52		53														
	上层		38		39		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53

(3) 绕组结构与应用举例

本绕组与前例结构基本相同，但改用 4 路并联，即每相绕组由 4 支路组成，每支路仅一组线圈，故其每组线圈的首、尾将交替连成一点，故接线时必须分清首、尾，并确保相邻线圈组的极性必须相反。绕组引出线 4 根，其中 3 根为发电机相线，另一根是中性线 N（俗称“零”线）。此绕组主要应用于 T2 系列的 T2-280S 三相交流发电机绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-15 所示。

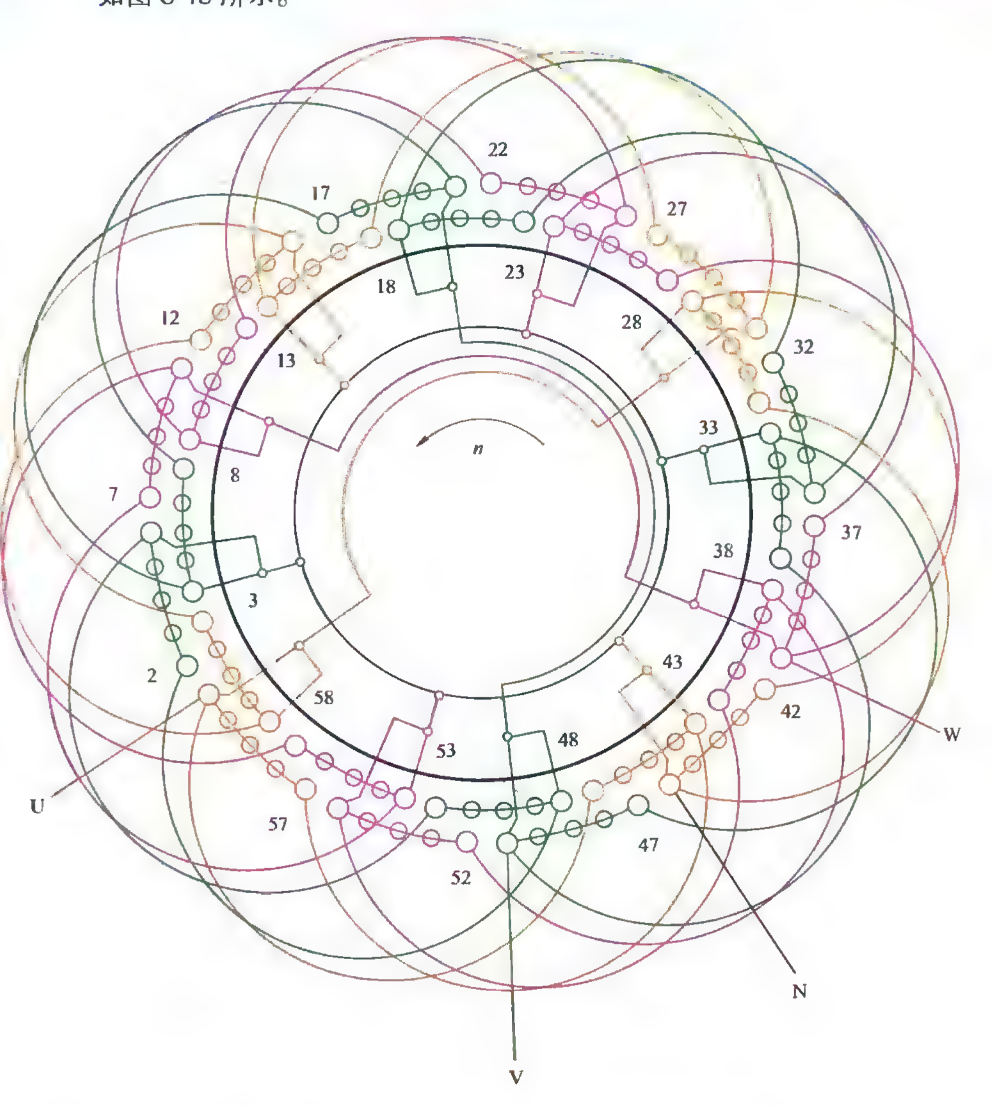


图 6-15　60 槽 4 极（$y=13$、$a=4$）三相交流发电机绕组双层叠式布线

6.2 单、三相交流发电机单层绕组端面布接线图

单层布线的发电机绕组用于功率较小的移动式发电机组，它既有主绕组，也有副绕组，还包括转子绕组。下面介绍13例发电机绕组，主要包括：

① 三相交流励磁机电枢绕组 它属于旋转电枢发电机绕组，是三相交流无刷发电机的附属绕组，是图例中唯一的转子电枢绕组。作为主发电机的励磁发电机，其功率较小，结构也简单，一般都采用三相单层布线，并与整流装置同装在主发电机转轴上，使三相电枢输出后经整流器换向，直接向主发电机转子的磁极绕组供电，从而免除电刷接触环节。励磁机的定子则是凸极式磁极，它的励磁能量由反馈获得。

此外，单层布线的其他型式三相发电机与双层布线相同，可参考上节所述。

② 逆序励磁单相发电机绕组 该发电机属于无刷发电机，定子单相具有两套绕组：一为定子主绕组，是输出电能的基本绕组；另一是副绕组，它与电容器连接，故又称电容绕组，其转子有隐极（分布式）和凸极（集中式）两种。此种发电机结构简单成本低、工作可靠、对无线电干扰小，适用于电信及照明电源，但其输出电压性能取决于电容器质量，故成为其电压稳定性不高的潜在因素。

③ 单相交流发电机 它是相复励同步发电机，属有刷发电机，定子绕组比较复杂，它有主绕组和副绕组，主绕组由多圈同心式线圈构成，为适应用户要求，有50Hz和60Hz两种变换接线；有的还设计成115V和230V输出电压变换。副绕组包括三次谐波绕组和单相基波绕组；另外还有单线圈的指示灯绕组。发电机的转子除电刷、集电环装置外，还配有电抗变流器及单相整流等复合式相复励装置。

相复励单相发电机主要用于备用照明，在应急时也可用于带动感性动力负载。

6.2.1 18槽6极（$y=3$、$a=1$）三相交流无刷发电机用交流励磁（转子）电枢绕组单层（庶极）链式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=18$	电机极数	$2p=6$	总线圈数	$Q=9$
线圈组数	$u=9$	每组圈数	$S=1$	线圈节距	$y=3$
并联路数	$a=1$	绕组接法	Y	绕组系数	$K_{dp}=1.0$
出线根数	$c=3$				

（2）嵌线方法

本例铁芯较小，线圈也不多，为减少接线，建议采用分相连绕，即每3只线圈为一组连绕，但要留足过线长度。嵌线时采用分层法，最后形成双平面绕组。嵌线顺序见表6-16。

表 6-16　分层整嵌法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下平面	14	11	18	15	4	1	8	5	12									
	上平面										9	16	13	2	17	6	3	10	7

(3) 绕组结构与应用举例

本例是用单层链式布线的庶极绕组，是 18 槽定子绕制最多极数的三相绕组。本绕组采用单层链式布线，每相 3 只线圈在定子上呈三足对称分布；因系庶极绕组，每相线圈的电流方向相同，所以三相全部线圈极性也一样。三相尾端在内部连成星点，引出相线 3 根。此绕组主要应用于 TFW2、JWW 系列的三相交流无刷发电机用的交流励磁机绕组。应用实例有 TFW2-180、TFW2-200、TFW2-225 等配用的交流励磁机。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-16 所示。

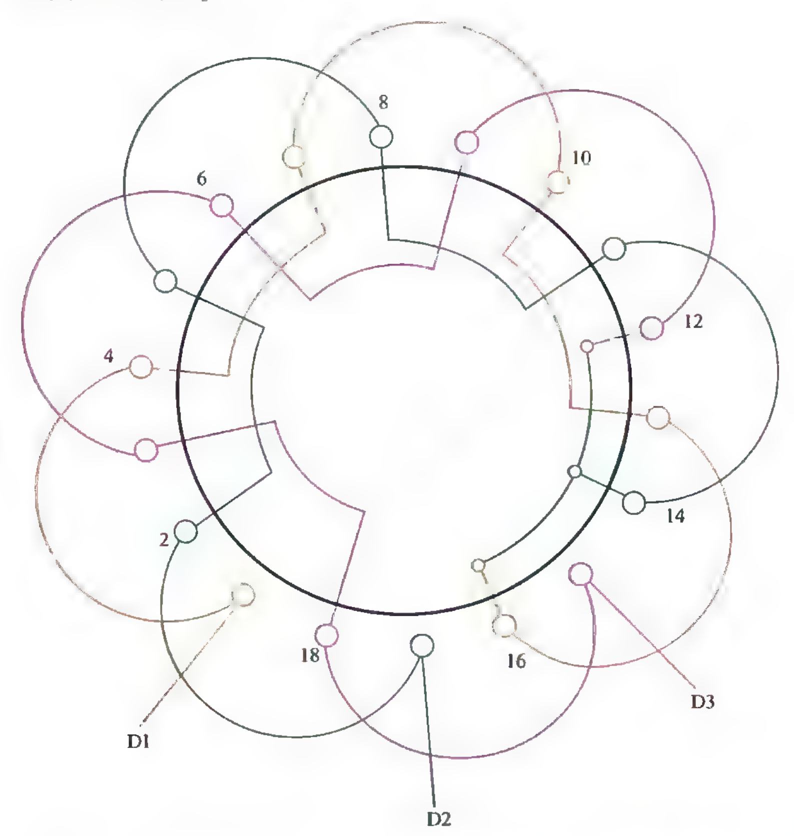


图 6-16　18 槽 6 极（$y=3$、$a=1$）三相交流无刷发电机用交流励磁（转子）电枢绕组单层（庶极）链式布线

6.2.2 30槽2极（$a=1$、2）逆序励磁单相交流无刷发电机绕组单层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=30$ 电机极数 $2p=2$ 总线圈数 $Q=16$

绕组组数 $u=2$

主绕组 U

主相圈数 $Q_u=10$ 线圈组数 $u_u=2$ 每组圈数 $S_u=5$

绕组极距 $\tau=15$ 绕组系数 $K_{dpu}=0.829$ 并联路数 $a=1$ 或 2

副绕组 Z

副相圈数 $Q_Z=6$ 线圈组数 $u_Z=2$ 绕组极距 $\tau=15$

每组圈数 $S_Z=3$ 并联路数 $a_Z=1$ 绕组系数 $K_{dpZ}=0.964$

总出线数 $c=6$

(2) 嵌线方法

本例采用分层整嵌法，即先嵌入主绕组，再嵌副绕组，但每组线圈中先嵌最小节距的线圈，然后逐个整嵌。

(3) 绕组结构与应用举例

本例是逆序励磁的单相交流无刷发电机定子绕组。它由两套绕组构成，其中主绕组分两组线圈，采用单层同心式布线，每组由5只线圈按B类安排，并将两组线圈分别出线，以便根据实际需要来改接为一路或二路并联，从而获得230V或115V的电压输出。副绕组是基波绕组，也由两组同心式线圈组成，每组3圈，按A类安排，即最大节距线圈是双层布线，两组线圈是反极性串联的一路接线，引出线标志为Z1和Z2。此绕组布线型式似是正弦绕组，但查资料则用等匝分布。本例绕组应用实例有TDW-90等单相交流无刷发电机。

(4) 绕组端面布接线图

如图6-17所示。

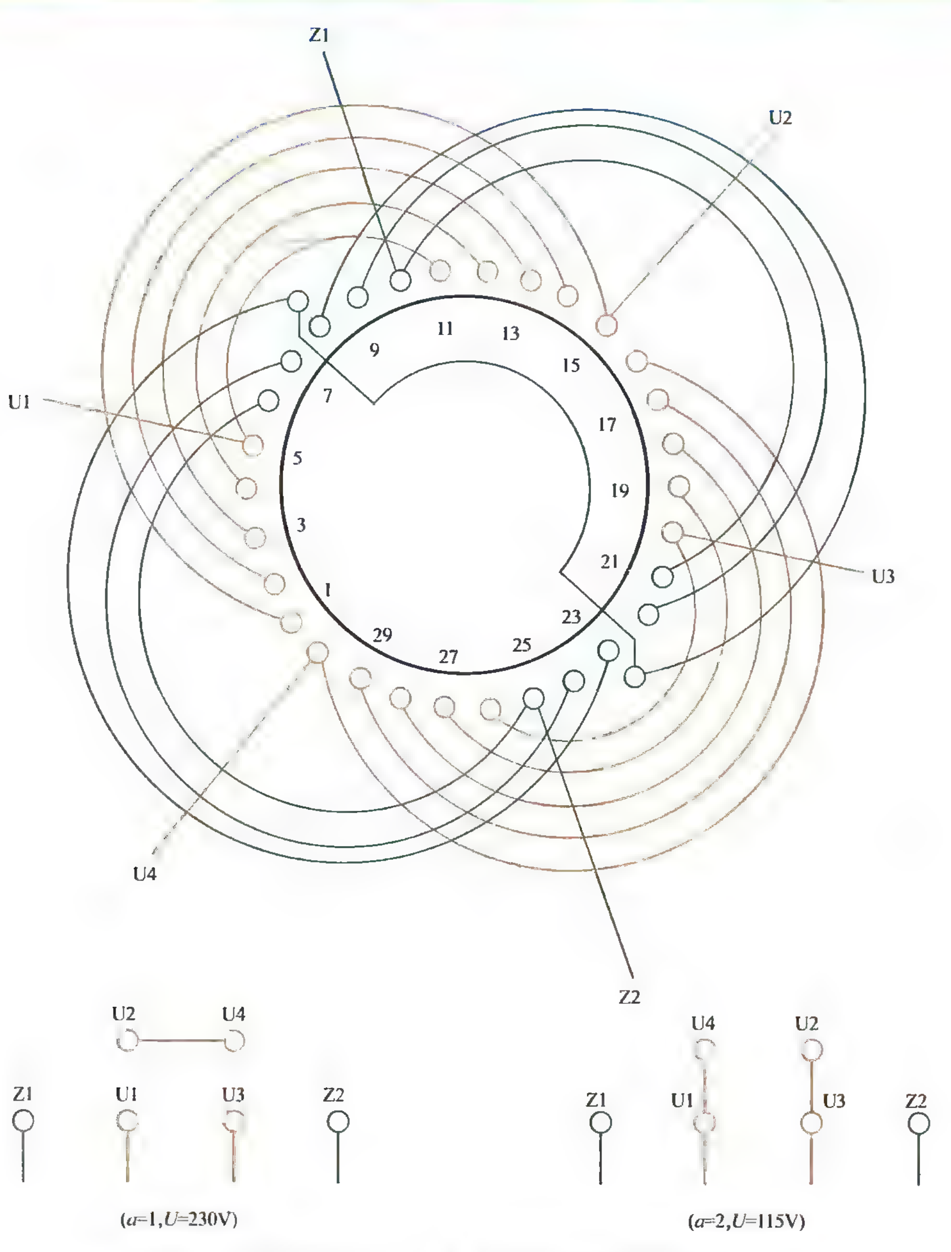


图6-17　30槽2极（$a=1$、2）逆序励磁单相交流无刷发电机绕组单层同心式布线

6.2.3 30槽10极（$y=3$、$a=1$）三相交流无刷发电机用交流励磁机（转子）电枢绕组单层链式（庶极）布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=30$　电机极数 $2p=10$　总线圈数 $Q=15$
线圈组数 $u=15$　每组圈数 $S=1$　线圈节距 $y=3$
并联路数 $a=1$　绕组接法 Y　绕组系数 $K_{dp}=1.0$
出线根数 $c=3$

（2）嵌线方法

本例绕组可用整嵌法或交叠法嵌线，但由于本绕组极对数 p = 奇数，如用双平面整嵌法则要出现一只跨于上、下层的变形线圈，如上例的线圈 12-9，嵌后造成绕组端部不够规整；若用三平面整嵌，虽无变形线圈，其端部仍不美观，故此倒不如用吊边交叠嵌线，这时只吊起一边即可。嵌线顺序见表 6-17。

表 6-17　单层交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	沉边	30	2		4		6		8		10		12		14		16		18	
	浮边			29		1		3		5		7		9		11		13		15

嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
槽号	沉边	20		22		24		26		28		
	浮边		17		19		21		23		25	27

（3）绕组结构与应用举例

三相绕组由 15 只线圈组成，每相有 5 只线圈，呈五角对称分布在定子上。因属庶极布线，全部线圈的电流方向相同，即接线是顺接串联。三相绕组的尾端接成星点，引出三相输出端 D1、D2、D3。此绕组是三相交流无刷发电机用交流励磁机的电枢绕组，应用实例有 TFW2-280、TFW2-315、TFW2-400 等无刷发电机配用的励磁机。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-18 所示。

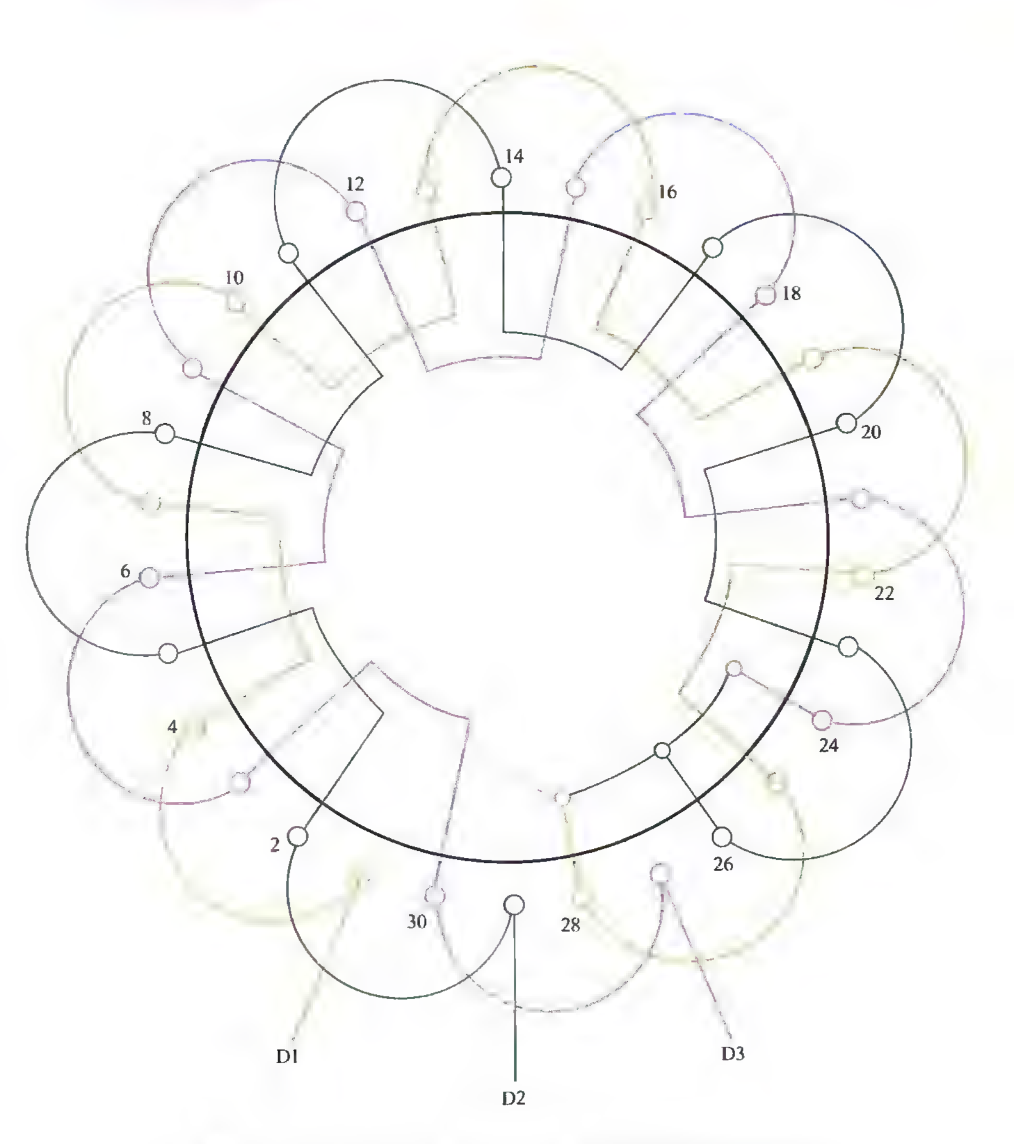


图 6-18　30 槽 10 极（$y=3$、$a=1$）三相交流无刷发电机用交流励磁机（转子）电枢绕组单层链式（庶极）布线

6.2.4 36槽2极(a=1、2)逆序励磁单相交流无刷发电机绕组单层同心式布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数 $Z=36$ 电机极数 $2p=2$ 总线圈数 $Q=18$

绕组组数 $u=2$

主绕组U

主相圈数 $Q_u=12$ 线圈组数 $u_u=2$ 每组圈数 $S_u=6$

绕组极距 $\tau=18$ 绕组系数 $K_{dpu}=0.818$ 并联路数 $a=1$ 或 2

副绕组Z

副相圈数 $Q_z=6$ 线圈组数 $u_z=2$ 绕组极距 $\tau=18$

每组圈数 $S_z=3$ 并联路数 $a_z=1$ 绕组系数 $K_{dpz}=0.956$

总出线数 $c=6$

(2) 嵌线方法

本例属典型的单相绕组，嵌线可用整嵌法，先嵌主绕组，再嵌副绕组，使其形成双平面结构。

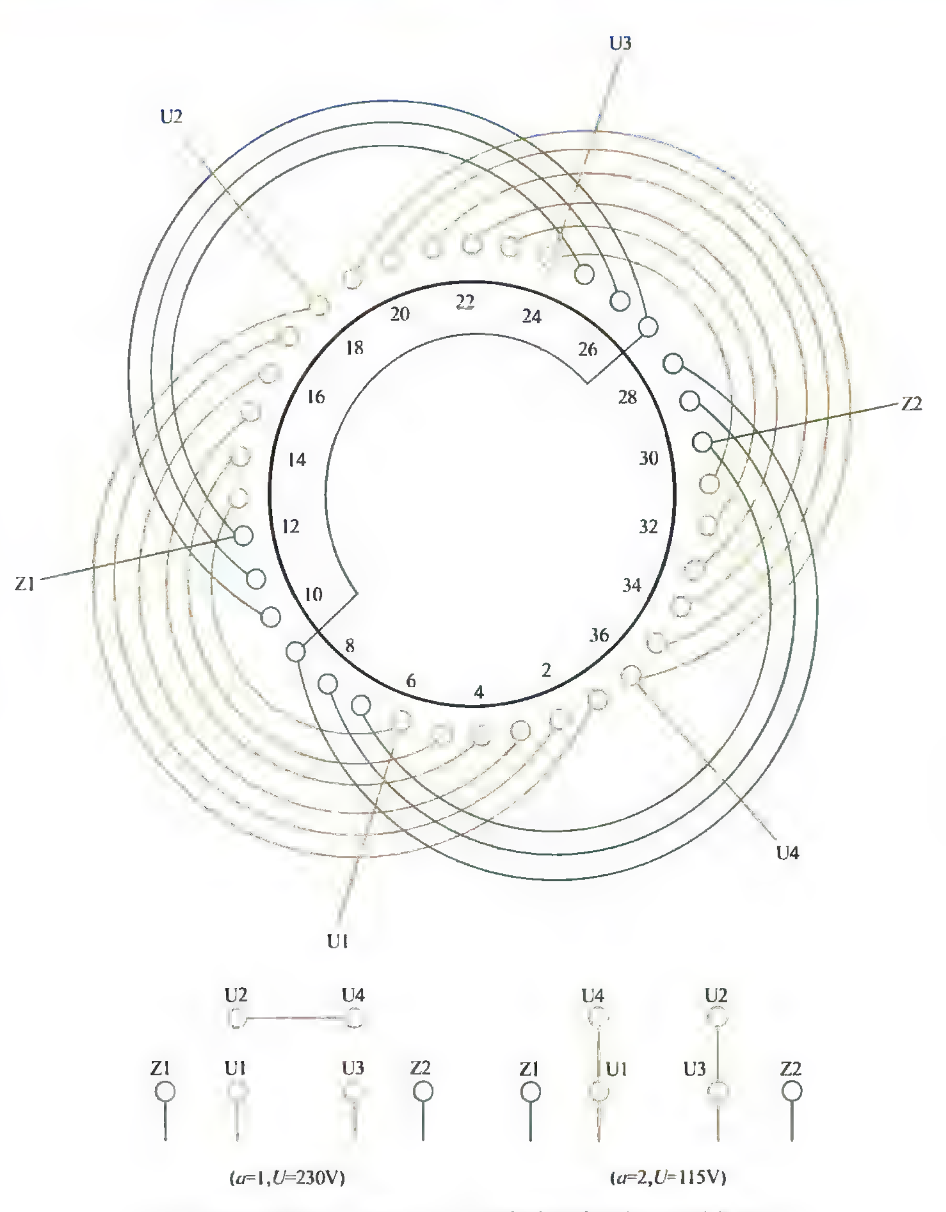
(3) 绕组结构与应用举例

本例由主、副绕组构成。其中主绕组是基本绕组，它由两组独立的6联同心线圈组成，并各自引出2根端线，可以在机外改成一路或二路并联，即需输出230V时，如端接图左所示将U2和U4连通，由U1、U3输出；若按图右按线则主绕组是二路并联，这时输出为115V。副绕组是基波绕组，每组3只同心线圈按B类布线。两组线圈反方向串联，引出线标志为Z1、Z2。本绕组布线型式类似正弦绕组，但实为等匝布线。

此绕组是逆序励磁无刷单相交流发电机绕组，主要应用实例有TDW-112等发电机定子主绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图6-19所示。



U2 U4
Z1 U1 U3 Z2
(a=1,U=230V)

U4 U2
Z1 U1 U3 Z2
(a=2,U=115V)

图 6-19 36 槽 2 极（$a=1$、2）逆序励磁单相交流无刷发电机绕组单层同心式布线

6.2.5 36槽4极（$a=1$、2）单相交流发电机定子主绕组同心式单双层复叠布线*

(1) 绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=24$
线圈组数	$u=6$	每组圈数	$S=4$	绕组均距	$y_p=5$
并联路数	$a=1$、2	绕组系数	$K_{dp}=0.709$	出线根数	$c=6$

(2) 嵌线方法

本例是由两组单层同心式绕组叠合，故嵌线采用整嵌法分先后嵌入，即先嵌入黄色基本绕组于槽的下层构成下层面；再把绿色附加绕组嵌到相应槽的上层构成上层面，从而使绕组端部形成双平面结构。

(3) 绕组结构与应用举例

本例是单相交流发电机定子绕组，它由两个同心式4极绕组叠加构成，其中黄色（U1—U5；U2—U6）为基本绕组；绿色（U3、U4）是附加绕组。它是为适应不同的用电标准而设计，即可适用于两种频率和两种电压。

① 本绕组是单层同心式叠合，每组4圈，其中黄色绕组相邻两组反串成一单元，并与绿色一组再串联，再引出线3根，即总引出线为6根。

② 输出230V时，需将两部分绕组串联（$a=1$），即50Hz时连通U3、U2，电源从U1、U4输出；若是60Hz则连通U5、U2，由U1、U6输出。

③ 输出115V时，把两部分绕组并联（$a=2$），即50Hz时，分别连通U2、U1和U3、U4，电源从U1、U4输出；若60Hz则分别连通U2、U1和U5、U6，电源从U1、U6输出。

应用实例有TFD-160等单相发电机主绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图6-20所示。

注：标题解释　　本例为复叠布线，是指几套相同或不同型式的独立绕组，分先后次序叠加嵌线。以下凡复叠布线同此解释

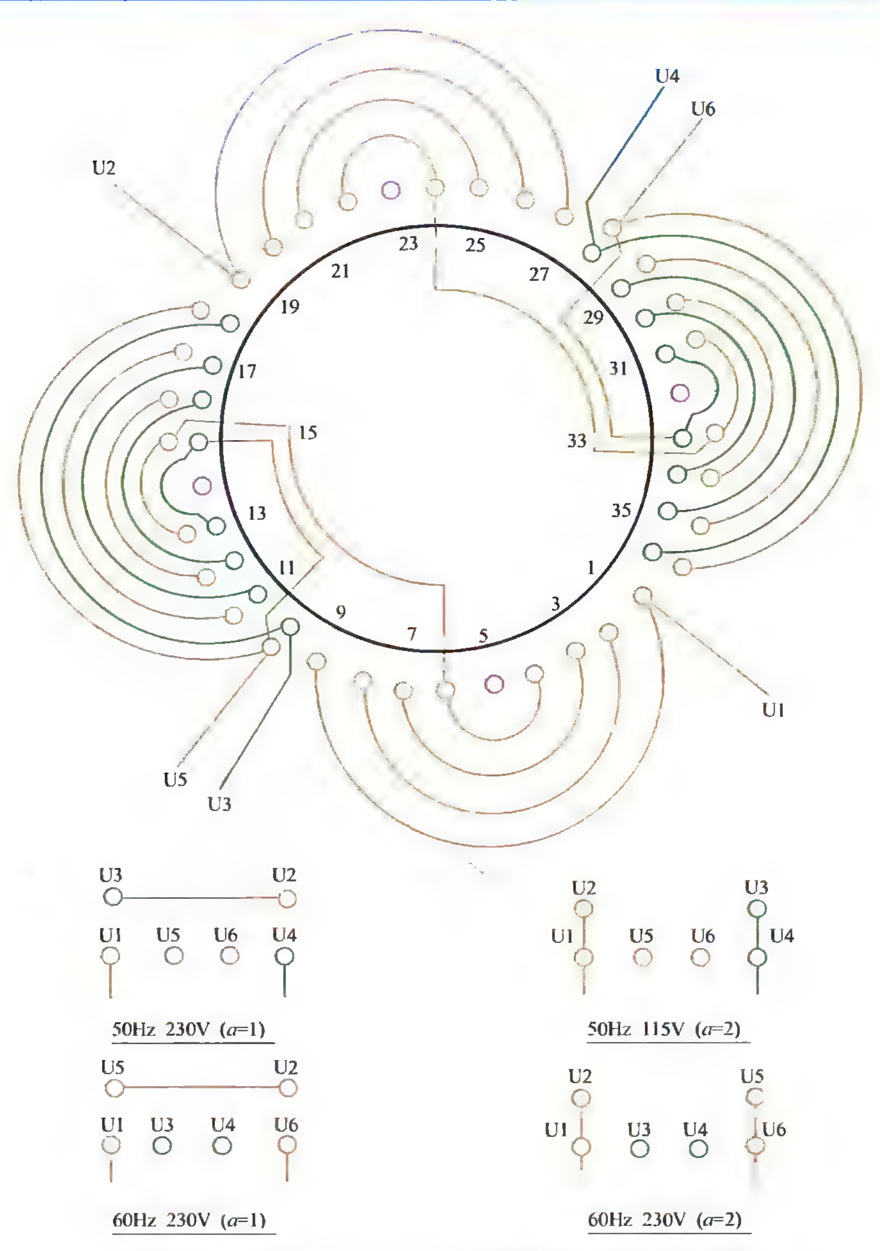


图 6-20 36 槽 4 极（$a=1$、2）单相交流发电机定子主绕组同心式单双层复叠布线

6.2.6 36槽4极（a=2、4）单相交流发电机定子主绕组同心式复叠布线

（1）绕组结构参数

定子槽数	$Z=36$	电机极数	$2p=4$	总线圈数	$Q=32$
线圈组数	$u=8$	每组圈数	$S=4$	绕组均距	$y_p=5$
并联路数	$a=2、4$	绕组系数	$K_{dp}=0.709$	出线根数	$c=6$

（2）嵌线方法

本例绕组嵌线采用整嵌法，先将绕组U1—U5和U2—U6嵌入槽的下层，然后再把绕组U3—U4嵌到相应槽的上层。

（3）绕组结构与应用举例

本例单相交流发电机绕组采用两个单层同心式叠加布线，其中黄色部分（U1—U5；U2—U6）是基本绕组；绿色部分（U3、U4）是附加绕组。它是根据不同标准地区的适应性而设计的，即既可用于50Hz或60Hz交流电频率，也可用于220V或110V市电输出。因此，若需输出60Hz电源，只需使用黄色绕组；若输出50Hz则要将图中绿色部分的绕组串入。然而，由图可见，发电机的4个极的线圈中，每两极线圈是并联接成一组，其电压按115V设计，因此，将两组线圈并联就输出115V（用户电压为110V），这时发电机实际是4路并联。其接线是从引出线端连接，如端接图右侧所示。若用户需要220V电源，则将两组（并联）线圈串联起来，如端接图左侧所示，使发电机输出230V。这时，实质上发电机绕组内部是2路并联。此绕组实际应用有TFD-180、TFD-200等单相交流发电机定子主绕组。

（4）绕组端面布接线图

如图6-21所示。

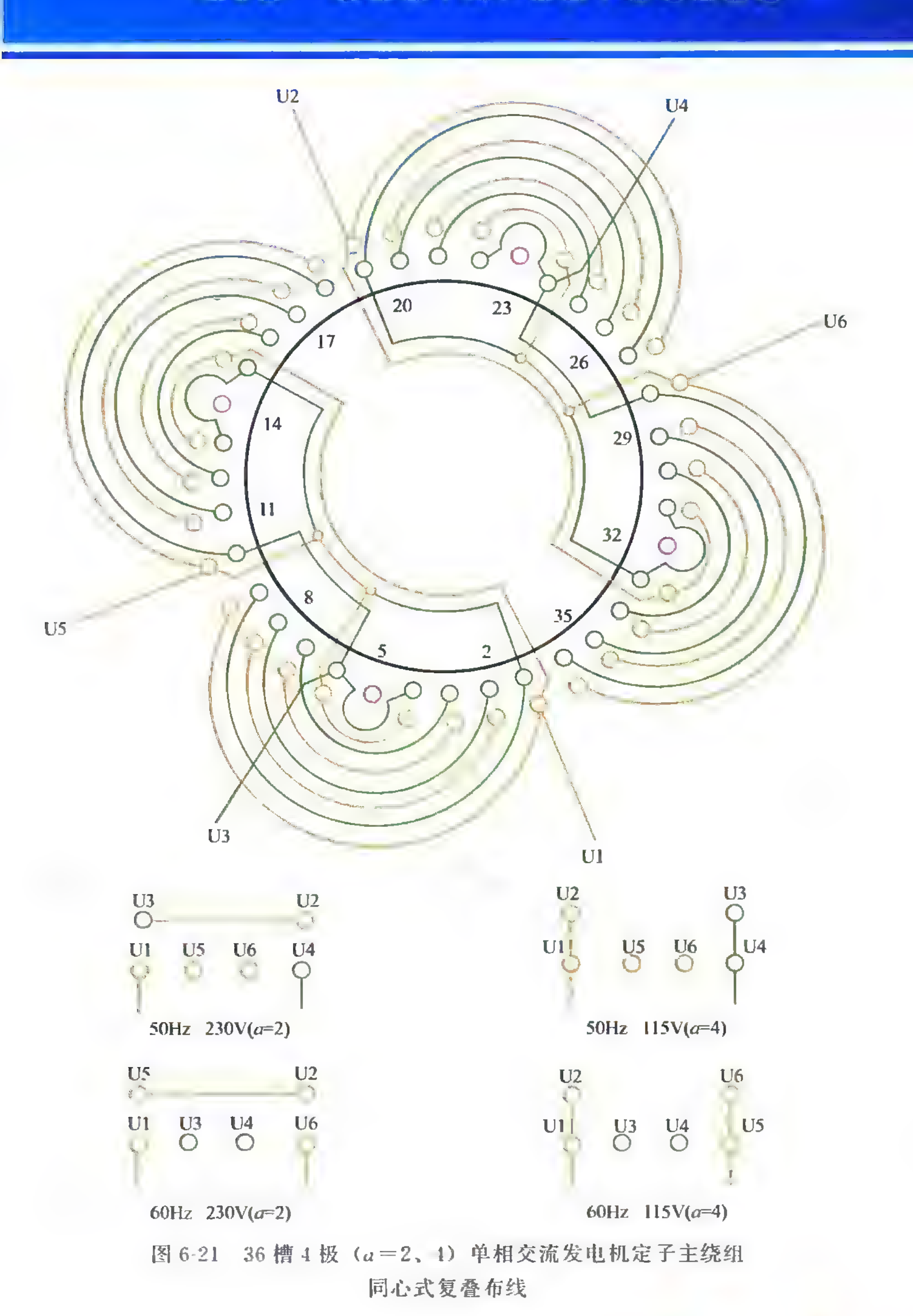


图 6-21 36 槽 4 极（$a=2$、4）单相交流发电机定子主绕组同心式复叠布线

6.2.7 36 槽 12 极（$y=2$、$a=1$）单相交流发电机定子副绕组单层链式复叠布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=36$ 总出线数 $c=4$

三次谐波副绕组（S1—S2）

谐波极数 $2p_S=12$ 谐波圈数 $Q_S=12$ 线圈组数 $u_S=12$

线圈节距 $y_S=2$ 每组圈数 $S_S=1$ 并联路数 $a_S=1$

绕组系数 $K_{dpS}=0.924$

基波副绕组（Z1—Z2）

基波极数 $2p_Z=4$ 基波圈数 $Q_Z=4$ 线圈组数 $u_Z=4$

线圈节距 $y_Z=8$ 每组圈数 $S_Z=1$ 并联路数 $a_Z=1$

（2）嵌线方法

本例三次谐波绕组采用整嵌法，构成槽下层平面的链式绕组；基波绕组及指示灯线圈嵌相应槽的上层。嵌线顺序见表 6-18。

表 6-18 整嵌法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	下层	3	1	6	4	9	7	12	10	15	13	18	16	21	19	24	22	27	25	30
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34				
槽号	下层	28	33	31	36	34														
	上层						9	1	18	10	27	19	36	28	7	3				

（3）绕组结构与应用举例

本例由 3 套绕组叠加而成。其中三次谐波（黄色）和基波（绿色）绕组都是单相绕组，前者由 12 只线圈构成 12 极单链绕组，线圈间的连接是反向串联；其尾端 S2 与基波绕组首端 Z1 相连。后者则用 4 只线圈按单层链式布线而按显极接线，即相连线圈反极性，从而也形成 4 极。另外，信号灯线圈安排在图中的槽 7、3 上层，并引出线 K1、K2。本绕组是 ST 系列发电机的配套绕组。主要应用实例有 TFD-132 单相交流发电机的定子副绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-22 所示。

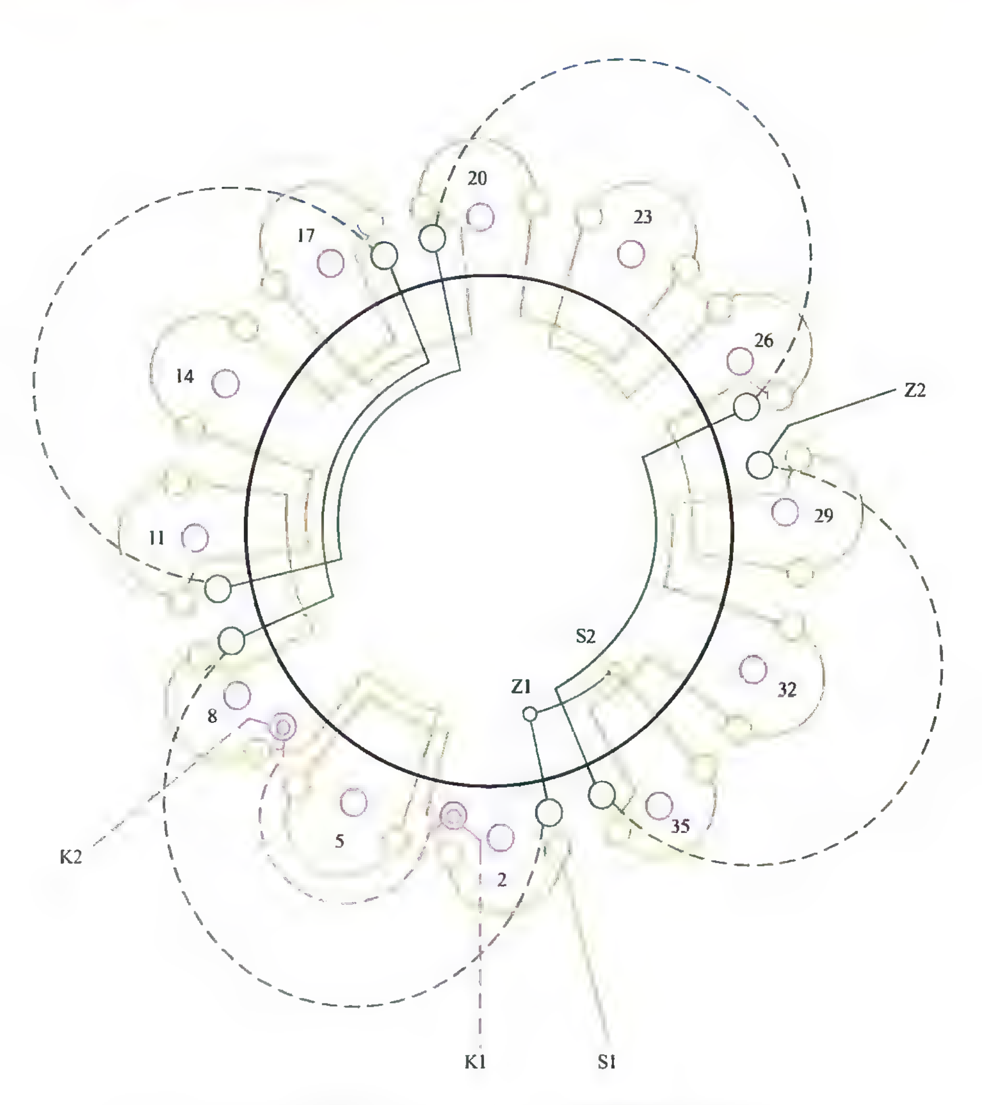


图 6-22　36 槽 12 极（$y=2$、$a=1$）单相交流发电机定子刷绕组单层链式复叠布线

6.2.8 36槽12极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（单链基波）三相有刷发电机定子副绕组单层复叠布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=36$ 总出线数 $c=7$

三次谐波副绕组

绕组极数 $2p_s=12$ 总线圈数 $Q_s=18$ 线圈组数 $u_s=18$

线圈节距 $y_s=3$ 每组圈数 $S_s=1$ 并联路数 $a_s=1$

绕组系数 $K_{dps}=1.0$

基波副绕组

绕组极数 $2p_z=4$ 总线圈数 $Q_z=4$ 线圈组数 $u_z=4$

线圈节距 $y_z=8$ 每组圈数 $S_z=1$ 并联路数 $a_z=1$

（2）嵌线方法

本例由3套单层绕组叠加而成。嵌线时采用整嵌法，先嵌三次谐波绕组，具体嵌法是嵌入一圈后，隔空一圈再嵌一圈，最后形成双平面结构。然后按图将基波的单链绕组4只线圈嵌入相应槽的上层；最后把信号灯线圈嵌到相应槽中。

（3）绕组结构与应用举例

本例是三次谐波励磁有刷发电机的定子副绕组。它由三套绕组构成，其中K1、K2是信号灯绕组，只有一只线圈，安排如图中槽3—7上层。S_U、S_V、S_W是三次谐波励磁的三相绕组，星形接法，星点不予引出，绕组采用单层链式布线，由18只线圈组成，每相6只线圈安排庶极，即接线用顺接串联，使6只线圈形成12极绕组，它是本发电机的核心绕组。Z1和Z2则是一套单相4极绕组，是本发电机的基波绕组，用单层链式布线，由4只线圈反向串联而成。主要应用实例有STC-200三相有刷发电机副绕组。

（4）绕组端面布接线图

如图6-23所示。

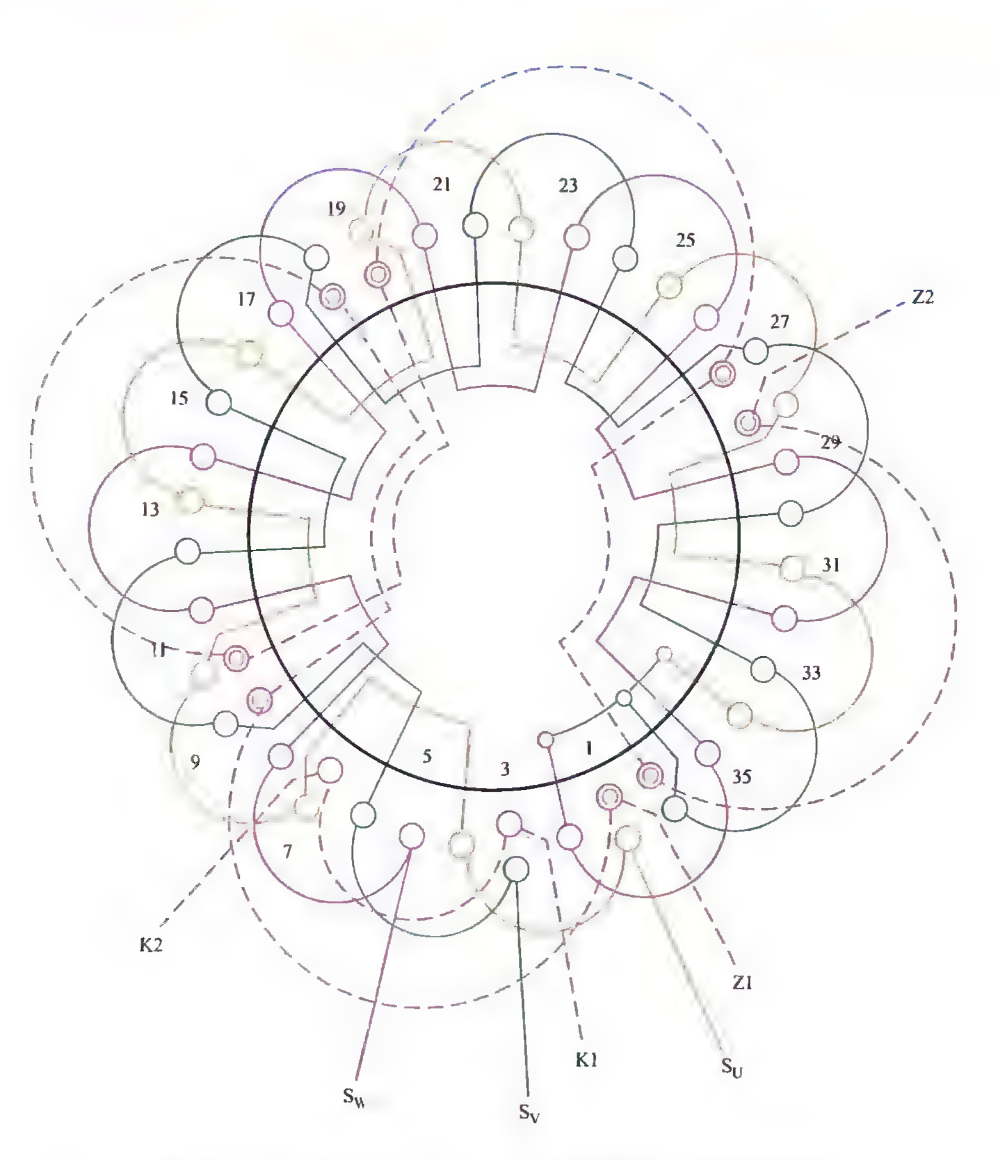


图 6-23 36 槽 12 极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（单链基波）三相有刷发电机定子副绕组单层复叠布线

6.2.9 36 槽 12 极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（庶极同心基波）三相交流发电机定子副绕组单层复叠布线

（1）绕组结构参数

定子槽数　$Z=36$　总出线数　$c=7$

三次谐波副绕组（S_U、S_V、S_W）

绕组极数　$2p_s=12$　总线圈数　$Q_s=18$　线圈组数　$u_s=18$

线圈节距　$y_s=3$　每组圈数　$S_s=1$　并联路数　$a_s=1$

绕组系数　$K_{dps}=1.0$

基波副绕组（Z1、Z2）

绕组极数　$2p_z=4$　总线圈数　$Q_z=4$　线圈组数　$u_z=2$

线圈节距　$y_z=8$、6　每组圈数　$S_z=2$　并联路数　$a_z=1$

（2）嵌线方法

本例是由三套绕组叠加而成，其中先嵌三次谐波的三相绕组，它是单层链式布线，故可用整嵌法构成双平面绕组。嵌线规律是嵌入一圈往后退，隔空一圈再嵌一圈，直至完成。然后再把两组庶极分布的同心双圈的基波绕组嵌到相应槽的上层，但要注意其极性相同。最后把 K1、K2 的信号灯线圈按图嵌入即可。

（3）绕组结构与应用举例

本例是三次谐波励磁有刷发电机的定子副绕组，它由三套绕组组成。其中三次谐波是三相单层链式绕组，采用庶极布线，即每相 6 只线圈顺序串联形成 12 极，三相引出线为 S_U、S_V、S_W。第二套是基波绕组，它是单相 4 极绕组，它由两组同心式双圈构成，而且用庶极布线，如图安排在定子对称位置，两组之间极性相同，使之通电后形成 4 极；出线标志为 Z1、Z2。K1 和 K2 是信号灯绕组，只有一只线圈。绕组应用实例有 STC-160 三次谐波励磁交流发电机定子副绕组。

（4）绕组端面布接线图

如图 6-24 所示。

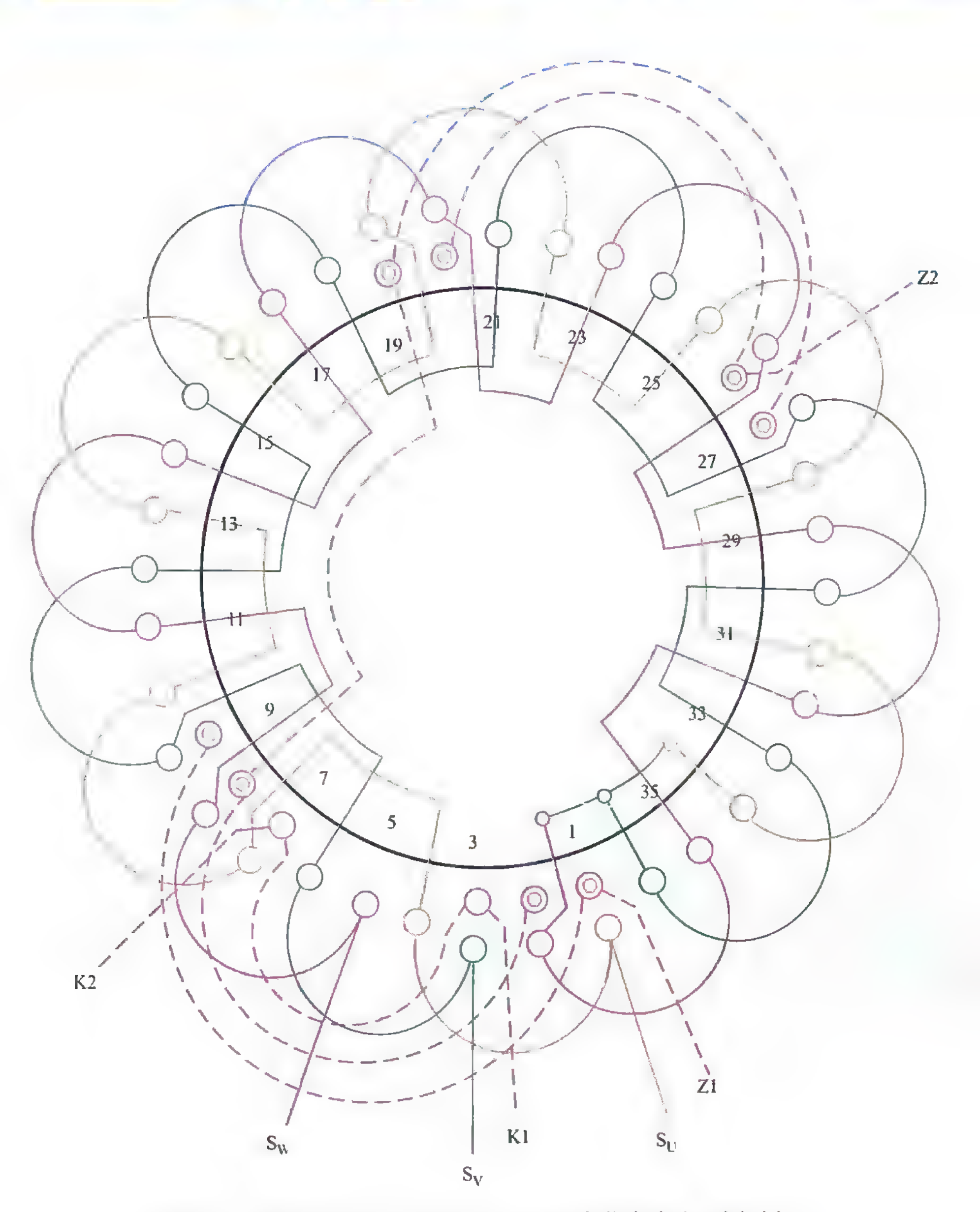


图 6-24 36 槽 12 极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（庶极同心基波）三相交流发电机定子副绕组单层复叠布线

6.2.10 36槽12极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（同心基波）三相有刷发电机定子副绕组单层复叠布线

(1) 绕组结构参数

定子槽数　$Z=36$　总出线数　$c=7$

三次谐波副绕组（S_U、S_V、S_W）

绕组极数　$2p_s=12$　总线圈数　$Q_s=18$　线圈组数　$u_s=18$

线圈节距　$y_s=3$　每组圈数　$S_s=1$　并联路数　$a_s=1$

绕组系数　$K_{dps}=1.0$

基波副绕组（Z1、Z2）

绕组极数　$2p_z=4$　总线圈数　$Q_z=8$　线圈组数　$u_z=4$

线圈节距　$y_z=8$、6　每组圈数　$S_z=2$　并联路数　$a_z=1$

(2) 嵌线方法

本例由谐波绕组、基波绕组和指示灯绕组叠加而成。嵌线则用整嵌法，先嵌三次谐波绕组，其嵌线规律是嵌入一圈、隔空一圈再嵌一圈，如此类推，最后构成双平面结构。完后再按图嵌入4只基波绕组线圈。最后再把信号灯线圈嵌到相应槽中。

(3) 绕组结构与应用举例

本例由三套绕组组成，其中三相12极是三次谐波绕组，它由单层链式三相绕组构成并按庶极布线，每组仅1圈，每相由6只节距$y_s=3$的线圈顺接串联而成，即全部线圈的极性相同；三相引出线S_U、S_V、S_W。基波绕组（红色虚线）是单相4极，采用单层同心式布线，每组由双圈构成，4组线圈按相邻反极性接线，引出线为Z1、Z2。单个线圈是指示灯绕组，线圈节距$y_z=4$，引出线是K1、K2。本绕组主要应用于STC系列的三次谐波励磁三相交流有刷发电机的副绕组，如STC-160等。

(4) 绕组端面布接线图

如图6-25所示。

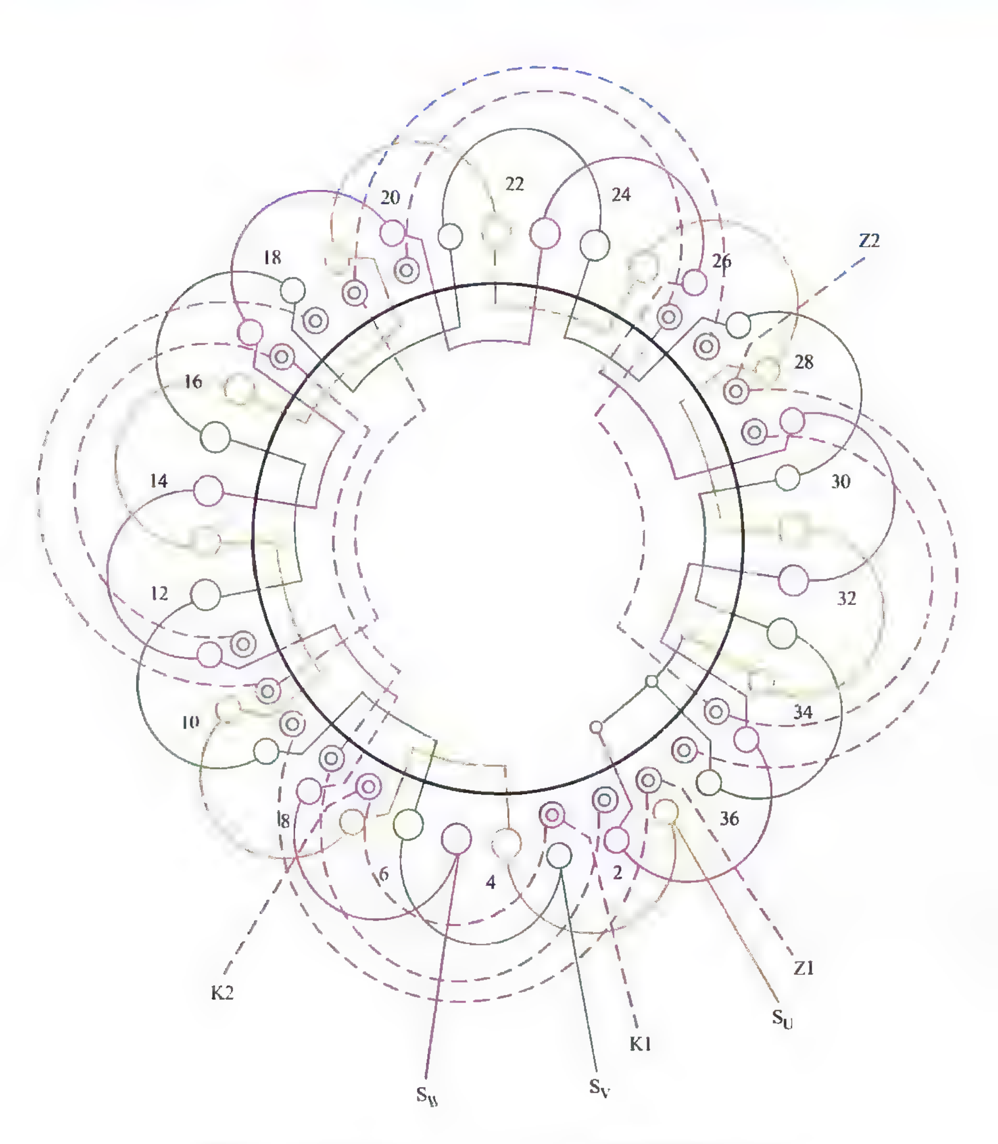


图 6-25　36 槽 12 极（$y_s=3$、$a_s=1$）三次谐波励磁（同心基波）三相有刷发电机定子副绕组单层复叠布线

6.2.11 48槽4极（$y_p=10$、$a=2$）三次谐波励磁三相交流有刷发电机定子绕组单层同心式布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=48$　　电机极数 $2p=4$　　总线圈数 $Q=24$

线圈组数 $u=12$　　每组圈数 $S=2$　　线圈节距 $y=11.9$

并联路数 $a=2$　　绕组接法 Y_0　　绕组系数 $K_{dp}=0.958$

出线根数 $c=4$

（2）嵌线方法

本例是单层绕组，可采用整嵌法构成三平面绕组，但为使绕组端部紧凑美观，通常都选用交叠法，这里需吊起4边。嵌线的基本规律是嵌两槽，退空两槽再嵌两槽。嵌线顺序见表6-19。

表6-19　单层交叠法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
槽号	沉边	43	44	47	48	3		4		7		8		11		12		15		16
	浮边						42		11		16		15		2		1		6	
嵌绕次序		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
槽号	沉边		19		20		23		24		27		28		31		32		35	
	浮边	5		10		9		14		13		18		17		22		21		26
嵌绕次序		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48									
槽号	沉边	36		39		40														
	浮边		25		30		29	34	33	38	37									

（3）绕组结构与应用举例

本例绕组采用单层同心式布线，每组由同心双圈组成，2组反极性串联成一个支路，两个支路并联构成一相绕组；三相绕组接成星形并引出发电机中性线N，再引出三相U、V、W，从而构成Y_0三相四线制输出。它的主要应用实例有STC-225等三次谐波励磁三相交流有刷发电机定子绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-26 所示。

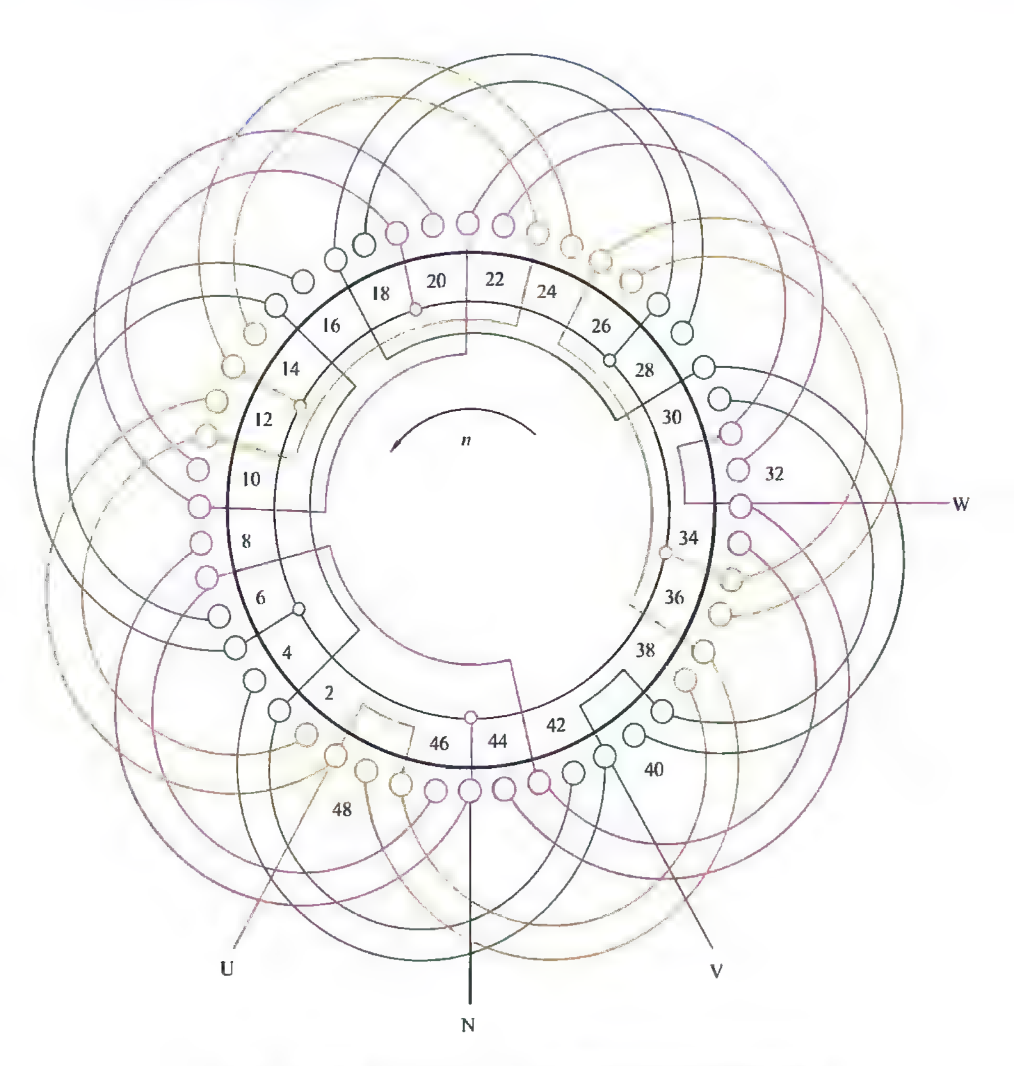


图 6-26 48 槽 4 极（$y_p=10$、$a=2$）二次谐波励磁三相交流有刷发电机定子绕组单层同心式布线

6.2.12 48槽12极（$y_s=4$、$a=1$）三次谐波励磁（庶极链基波）三相有刷发电机副绕组单层复叠布线

（1）绕组结构参数

定子槽数 $Z=48$ 总出线数 $c=7$

三次谐波副绕组（S_U、S_V、S_W）

绕组极数 $2p_s=12$ 总线圈数 $Q_s=24$ 线圈组数 $u_s=18$

线圈节距 $y_s=4$ 每组圈数 $S_s=1\frac{1}{3}$ 并联路数 $a_s=1$

绕组系数 $K_{dps}=0.924$

基波副绕组（Z1、Z2）

绕组极数 $2p_z=4$ 总线圈数 $Q_z=4$ 线圈组数 $u_z=4$

线圈节距 $y_z=11$ 每组圈数 $S_z=1$ 并联路数 $a_z=1$

（2）嵌线方法

本例由三套绕组叠加而成。嵌线先嵌三次谐波绕组，采用整嵌法，分单元嵌入，第1、2单元嵌线顺序见表6-20，依此类推。

表6-20 整嵌法

嵌绕次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
嵌入槽号	5	1	6	2	7	3	8	4	13	9	14	10	15	11	16	12

然后把基波绕组按图嵌入；最后，把K1、K2信号灯线圈嵌入相应槽上层。

（3）绕组结构与应用举例

本例属单层叠式庶极分割布线，它将三相线圈分成6个几何单元，每单元有4只线圈，其中两相单圈及一相双圈，并在各单元中轮换，即每组线圈数为$1\frac{1}{3}$的分数。绕组每相6组线圈的连接是顺向串联，但要注意接线的走向不同，即U、V相顺槽号走线，而W相则逆向走线。此外，基波绕组（Z1、Z2）是4极单链布线，每组单圈，线圈间反极性串联。本例绕组应用于STC-225三次谐波励磁三相有刷发电机定子副绕组。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-27 所示。

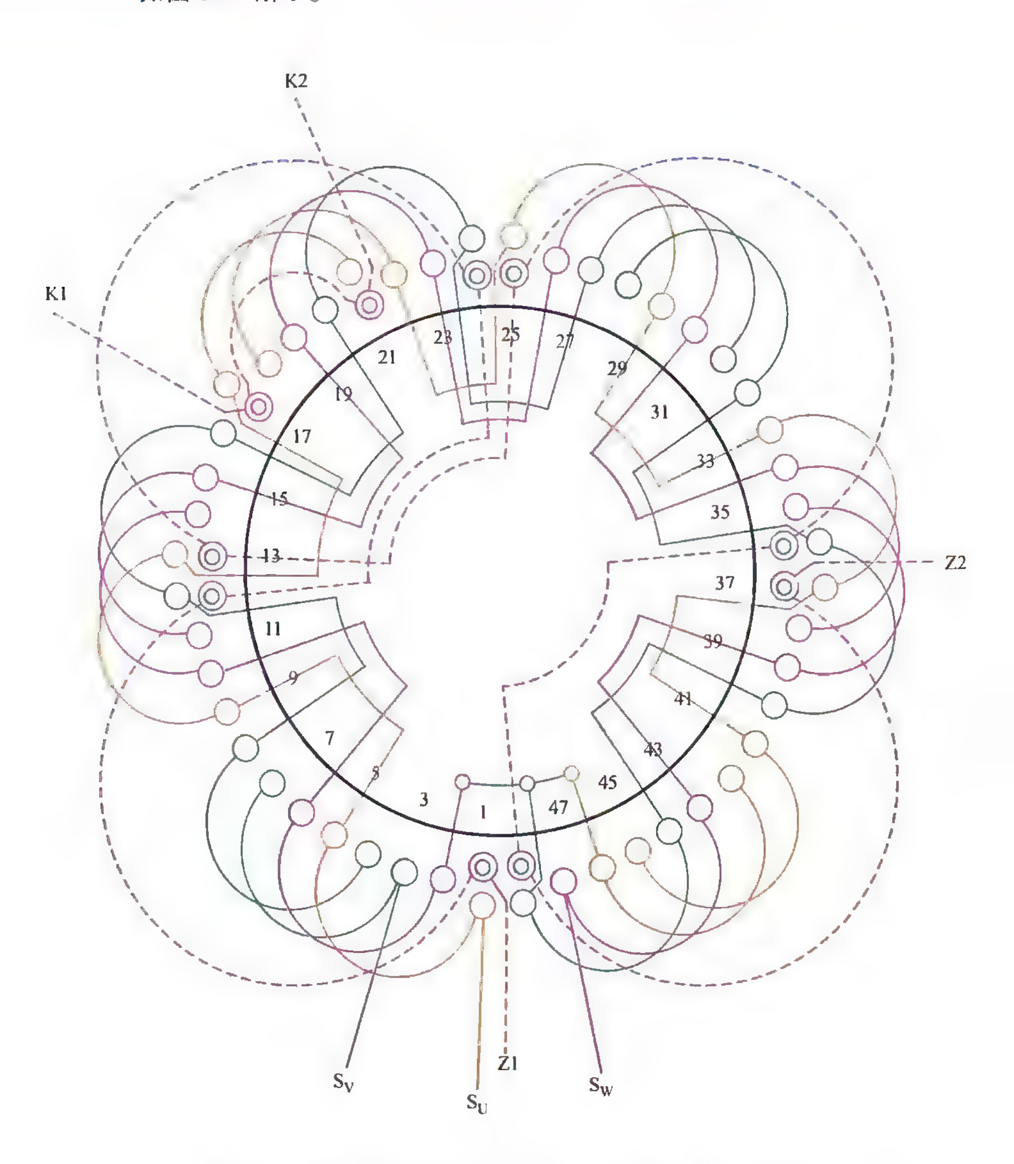


图 6-27 48 槽 12 极（$y_s=4$、$a=1$）三次谐波励磁（庶极链基波）三相有刷发电机副绕组单层复叠布线

6.2.13　48 槽 4 极隐极式转子绕组单层同心式布线

(1) 绕组结构参数

转子槽数　$Z=48$　　绕组极数　$2p=4$

总线圈数　$Q=20$　　线圈组数　$u=4$

每组圈数　$S=5$　　并联路数　$a=1$

绕组极距　$\tau=12$　　出线根数　$c=2$

线圈节距　$y=11、9、7、5、3$

(2) 嵌线方法

本例绕组为单层布线，可用整嵌法嵌线，无需吊边，嵌线顺序见表6-21。

表 6-21　整嵌法

嵌绕次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
槽号	沉边	48	3	47	4	46	5	45	6	44	7	36	39	35	40	34
	浮边															
嵌绕次序		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
槽号	沉边	41	33	42	32	43	24	27	23	28	22	29	21	30	20	31
	浮边															
嵌绕次序		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
槽号	沉边	12	15	11	16	10	17	9	18	8	19					
	浮边															

(3) 绕组结构与应用举例

本例绕组是 T2 系列三相交流发电机的转子绕组，主要用作交流发电机励磁磁场；功率较小时为凸极集中式绕组，60kW 以上则采用隐极式，即多槽分布式绕组。绕组为 4 极，结构非常简单，全绕组有 20 只线圈，分 4 组，每组 5 只线圈用同心式布线，属显极式，故相邻线圈组极性相反，即接线为一正一反串联而成。应用实例如 T2-250M-4 等。

(4) 绕组端面布接线图

如图 6-28 所示。

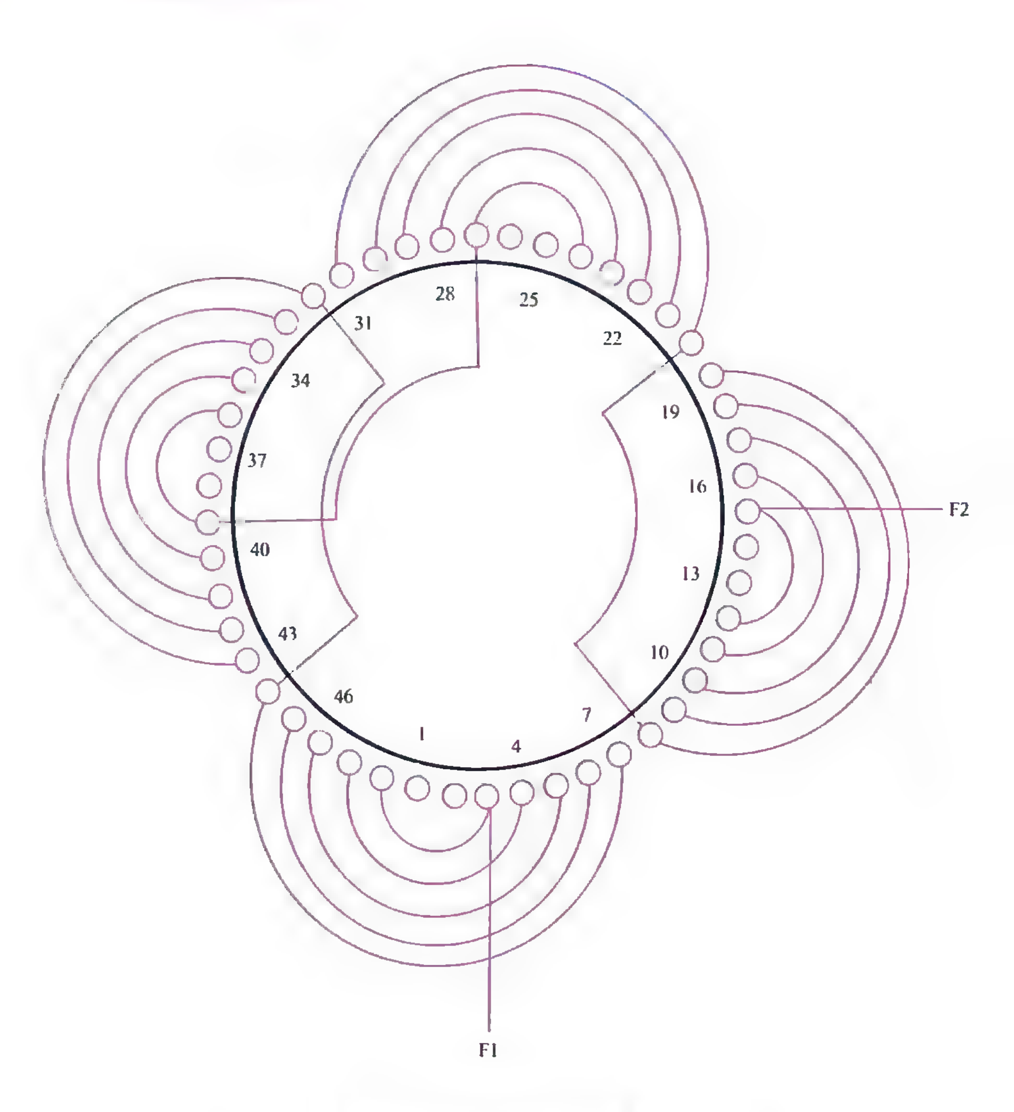


图 6-28 48 槽 4 极隐极式转子绕组单层同心式布线

附录

附表 1　TFD（TFDW、ST）系列单相交流发电机绕组技术数据

机座号	中心高 mm	功率 /kW	定子槽数	主相 定子主绕组 节距 (y_u)	每组线圈匝数	线规 /(根/mm)	型式与图号	副相 谐波副绕组 节距 (y_s)	线圈匝数	线规 /(根/mm)	副绕组型式与图号	基波副绕组 节距 (y_z)	线圈匝数	线规 (根/mm)	转子凸极绕组 每极匝数	线规 mm
2	132	2	36	1—9	15	1-ϕ1.16	单相 单层 同心式 图 6-20	1—3	42	1-ϕ0.72	单相 单链 图 6-22	1—9	7	1-ϕ0.72	386	ϕ0.90
				2—8	33							10—18	8			
				3—7	15							19—27	7			
				4—6	12							28—36	8			
				10—18	8+7											
				11—17	20+13											
				12—16	10+5											
				13—15	9+3											
2	132	3	36	1—9	12	2-ϕ1.0	单相 单层 同心式 图 6-20	1—3	12	1-ϕ0.72	单相 单链 图 6-22	1—9	6	1-ϕ0.72	386	ϕ0.90
				2—8	20							10—18	6			
				3—7	12							19—27	6			
				4—6	8							28—36	6			
				10—18	6+6											
				11—17	11+9											
				12—16	8+4											
				13—15	6+2											
3	160	5	36	1—9	7	3-ϕ1.08	单相 单层 同心式 图 6-20	1—3	20	1-ϕ0.90	单相 单链 图 6-22	1—9	5	1-ϕ0.90	112	ϕ1.0
				2—8	16							10—18	5			
				3—7	8							19—27	5			
				4—6	7							28—36	5			
				10—18	4+3											
				11—17	9+7											
				12—16	4+1											
				13—15	5+2											

续表

机座号	中心高/mm	功率/kW	定子槽数	主相				副相							转子凸极绕组	
				定子主绕组				谐波副绕组			副绕组型式与图号	基波副绕组				
				节距(y_u)	每组线圈匝数	线规/(根/mm)	型式与图号	节距(y_s)	线圈匝数	线规/(根/mm)		节距(y_z)	线圈匝数	线规/(根/mm)	每极匝数	线规/mm
3	160	7.5	36	1—9	7	2-ϕ1.06 2-ϕ1.12	单相 单层 同心式 图 6-20	1—3	16	1-ϕ0.90	单相 单链 图 6-22	1—9	4	1-ϕ0.90	112	ϕ1.0
				2—8	12							10—18	5			
				3—7	6							19—27	4			
				4—6	6							28—36	5			
				10—18	4+3											
				11—17	6+6											
				12—16	4+2											
				13—15	4+2											
4	180	10	36	1—9	7	4-ϕ1.25	单相 单层 同心式 图 6-20	1—3	35	1-ϕ0.86	单相 单链 图 6-22	1—9	5	1-ϕ0.86	412	ϕ1.0
				2—8	12							10—18	5			
				3—7	7							19—27	5			
				4—6	6							28—36	5			
				10—18	4+3											
				11—17	7+5											
				12—16	4+3											
				13—15	5+1											
4	180	12	36	1—9	8+2	3-ϕ1.08	单层 同心 复叠 图 6-21	1—3	28	1-ϕ1.08	单相 单链 图 6-22	1—9	3	1-ϕ1.08	270	ϕ1.25
				2—8	17+2							10—18	3			
				3—7	8+3							19—27	3			
				4—6	8+3							28—36	3			
5	200	15	36	1—9	8+2	3-ϕ1.25	单层 同心 复叠 图 6-21	1—3	14	1-ϕ1.12	单相 单链 图 6-22	1—9	2	1-ϕ1.12	358	ϕ1.25
				2—8	13+4							10—18	3			
				3—7	8+2							19—27	3			
				4—6	8+2							28—36	3			
5	200	20	36	1—9	7+2	4-ϕ1.25	单层 同心 复叠 图 6-21	1—3	14	1-ϕ1.12	单相 单链 图 6-22	1—9	2	1-ϕ1.12	400	ϕ1.25
				2—8	10+1							10—18	2			
				3—7	9+1							19—27	2			
				4—6	7+1							28—36	2			

注：本附表中图号对应于第 6 章绕组图号，后同。

附表 2　TDW 系列逆序励磁单相交流无刷发电机绕组技术数据

机座号	中心高/mm	功率/kW	定子主绕组						基波副绕组					转子凸极	
			槽数	节距(y_u)	每圈匝数	线规（根-mm）	线圈组数	绕组型式与图号	节距(y_x)	每圈匝数	线规（根-mm）	线圈组数	绕组型式图号	每极匝数	线规mm
1	90	1	30	1—15	25	1-ϕ0.75	2	单同心 图 6-17			1-ϕ0.75	2	单同心 图 6-17	980	ϕ0.50
				2—14	25				1—16	25					
				3—13	25				2—15	48					
				4—12	25				3—14	48					
				5—11	25										
1	90	2	30	1—15	13	2-ϕ0.75	2	单同心 图 6-17			2-ϕ0.75	2	单同心 图 6-17	980	ϕ0.50
				2—14	13				1—16	12					
				3—13	13				2—15	24					
				4—12	13				3—14	21					
				5—11	13										
2	112	3	36	1—18	10	2-ϕ0.90	2	单同心 图 6-17			2-ϕ0.90	2	单同心 图 6-17	980	ϕ0.50
				2—17	9				1—18	14					
				3—16	9				2—17	11					
				4—15	9				3—16	14					
				5—14	9										
				6—13	9										
2	112	5	36	1—18	5	3-ϕ0.95	2	单同心 图 6-17			2-ϕ0.90	2	单同心 图 6-17	980	ϕ0.50
				2—17	5				1—18	10					
				3—16	5				2—17	10					
				4—15	5				3—16	10					
				5—11	5										
				6—13	5										

附表 3　STC 系列三次谐波励磁的三相交流有刷发电机绕组技术数据

机座号	中心高 mm	功率 kW	主相							副相										转子	
			定子主绕组							谐波副绕组					基波副绕组					凸极绕组	
			绕组型式	槽数	节距 (y)	线圈匝数	线规（根-mm）	并联路数	绕组图号	绕组型式	节距 (y)	线圈匝数	线规（根-mm）	绕组图号	绕组型式	节距 (y_z)	线圈匝数	线规（根-mm）	绕组图号	每极匝数	线规 mm
2	132	3	三相双层叠式	36	1—3	11	1-φ0.90	1	图6-1	三相单层庶极链式	1—4	20	1-φ0.80	图6-27	单相单层同心式	1—9	5+1	1-φ0.80	图6-27	386	φ0.90
																2—8	5+1				
																10—18	5+1				
																11—17	5+1				
																19—27	5+1				
																20—26	5+1				
																28—36	5+1				
																29—35	5+1				
3	160	5		36	1—8	10	1-φ1.16	1	图6-1		1—4	17	1-φ0.86	图6-21		1—9	7	1-φ0.86	图6-21	112	φ1.0
																2—8	6+1				
																19—27	6+1				
																20—26	7				
3	160	7.5		36	1—8	8	2-φ1.0	1	图6-1		1—4	11	1-φ0.90	图6-25		1—9	3	1-φ0.90	图6-25	112	φ1.0
																2—8	3				
																10—18	3+1				
																11—17	3+1				
																19—27	3+1				
																20—26	3+1				
																28—36	3				
																29—35	3				

续表

机座号	中心高/mm	功率/kW	主相							副相										转子	
			定子主绕组							谐波副绕组					基波副绕组					凸极绕组	
			绕组型式	槽数	节距（y）	线圈匝数	线规（根-mm）	并联路数	绕组图号	绕组型式	节距（y）	线圈匝数	线规（根-mm）	绕组图号	绕组型式	节距（y_z）	线圈匝数	线规（根-mm）	绕组图号	每极匝数	线规/mm
4	180	10	三相双层叠式	36	1—8	9	2-φ1.16	1	图 6-1	三相单层庶极链式	1—4	11	1-φ1.0	—	单相单层链式	1—9 10—18 19—27 28—36	3+1 2+2 2+2 3+1	1-φ1.0		412	φ1.0
4	180	12		36	1—8	7	2-φ1.25	1	图 6-1		1—4	12	1-φ1.12	—		1—9 10—18 19—27 28—36	3+1 2+2 2+2 3+1	1-φ1.12	—	270	φ1.25
5	200	15		36	1—9	6	3-φ1.16	1	图 6-6		1—4	10	1-φ1.16	图 6-23		1—9 10—18 19—27 28—36	2 1+1 1+1 2	1-φ1.16	图 6-23	358	φ1.25
5	200	20	三相单层同心式	36	1—8	11	2-φ1.16	2	图 6-2		1—4	9	1-φ1.16	图 6-23		1—9 10—18 19—27 28—36	3 2+1 2+1 3	1-φ1.16	图 6-23	100	φ1.25
6	225	30		48	1—12 2—11	11 11	3-φ1.18	2	图 6-26	三相单层庶极叠式	1—5	10	1-φ1.25	图 6-27		1—9 10—18 19—27 28—36	2 1+1 1+1 3	1-φ1.25	图 6-27	385	φ1.71
6	225	40		48	1—12 2—11	11 12	1-φ1.18	2	图 6-26		1—5	9	1-φ1.25	图 6-27		1—9 10—18 19—27 28—36	2 1+1 1+1 2	1-φ1.25	图 6-27	385	φ1.74
6	225	50		18	1—12 2—11	9 9	5-φ1.20	2	图 6-26		1—5	7	1-φ1.25	图 6-27		1—9 10—18 19—27 28—36	1 1+1 1+1 2	1-φ1.25	图 6-27	385	φ1.74

附表 4　T2（TZH、T2S、TFW）系列三相交流发电机绕组技术数据

机座号	中心高/mm	功率/kW	定子主绕组							转子绕组				
			槽数	节距	线圈匝数	线规/(根/mm)	并联路数	绕组型式	布接线图号	转子型式	节距	线圈匝数	线规/(根/mm)	布接线图号
160S	160	3	36	1—8	21	1-ϕ0.90	1	双层叠式(三相四线接法)	图 6-1	凸极式	—	290	1-ϕ1.16	
160M		5	36	1—8	13	1-ϕ1.16	1		图 6-1		—	230	1-ϕ1.30	
180S	180	10	36	1—8	9	2-ϕ1.16	1		图 6-1		—	147	1.25×2.26	
180M		12	36	1—8	8	2-ϕ1.25	1		图 6-1		—	155	1.25×2.26	
200S	200	20	36	1—8	11	1-ϕ1.56	2		图 6-2		—	95	1.18×3.28	
200M		24	36	1—8	9	2-ϕ1.125	2		图 6-2		—	95	1.18×3.28	
200L		30	36	1—8	15	1-ϕ1.35	4		图 6-3		—	99	1.18×3.28	
225M	225	40	48	1—10	6	2-ϕ1.62	2		图 6-7		—	115	1.95×3.53	
225L		50	48	1—10	5	3-ϕ1.45	2		图 6-7			115	1.95×3.53	
250M	250	64	60	1—12	7	2-ϕ1.45	4		图 6-11	隐极式	1—12	47	2-ϕ1.50	图 6-28
											2—11	47		
											3—10	33		
											4—9	33		
											5—8	20		
250L	250	75	60	1—12	3	4-ϕ1.56	2		图 6-10		1—12	47	2-ϕ1.50	图 6-28
											2—11	47		
											3—10	33		
											4—9	33		
											5—8	20		
280S	280	90	60	1—14	5	3-ϕ1.45	4		图 6-15		1—12	43	3-ϕ1.40	图 6-28
											2—11	43		
											3—10	29		
											4—9	29		
											5—8	18		

续表

机座号	中心高 mm	功率 kW	定子主绕组							转子绕组				
			槽数	节距	线圈匝数	线规（根/mm）	并联路数	绕组型式	布接线图号	转子型式	节距	线圈匝数	线规（根/mm）	布接线图号
280L	280	120	60	1—14	2	7-ϕ1.50	2	双层叠式（三相四线接法）	图 6-14	隐极式	1—12	43	3-ϕ1.40	图 6-28
											2—11	43		
											3—10	29		
											4—9	29		
											5—8	18		
355S	355	150	60	1—13	4	3-ϕ1.50 2-ϕ1.45	4		图 6-13		1—12	47	4-ϕ1.35	图 6-28
											2—11	47		
											3—10	33		
											4—9	33		
											5—8	20		
355M	355	200	60	1—13	3	6-ϕ1.50	4		图 6-13		1—12	47	4-ϕ1.35	图 6-28
											2—11	47		
											3—10	33		
											4—9	33		
											5—8	20		
355L	355	250	60	1—13	2	7-ϕ1.50	4		图 6-13		1—12	47	4-ϕ1.35	图 6-28
											2—11	47		
											3—10	33		
											4—9	33		
											5—8	20		

附表 5　TFW2/JWW（TZH2/JWX）系列三相交流无刷发电机绕组技术数据

机座号	中心高/mm	功率/kW	定子主绕组								转子绕组			配用交流励磁机号
			槽数	节距	每组线圈匝数分配	线规/(根/mm)	并联路数	绕组型式	绕组接法	绕组图号	转子磁极型式	每极匝数	线规/(根/mm)	
180S	180	16	36	1—8	6,7,7	2-ϕ1.18 1-ϕ1.12	1	三相双层叠式	三相四线接法	图 6-4	集中式凸极绕组	250	2-ϕ1.0	1
180M	180	20	36	1—8	5,6,5	4-ϕ1.12	1			图 6-4		250	2-ϕ1.0	1
180L	180	24	36	1—8	4,5,5	3-ϕ1.12 2-ϕ1.06	1			图 6-4		250	2-ϕ1.0	2
200S	200	30	36	1—8	11	3-ϕ1.12	2			图 6-5		330	1-ϕ1.50	2
200M	200	40	36	1—8	8,9,9	4-ϕ1.12	2			图 6-5		350	1-ϕ1.50	3
200L	200	50	36	1—8	7,8,7 8,7,8	4-ϕ1.25	2			图 6-5		350	1-ϕ1.50	3
225S	225	64	48	1—11	4,5,5,5	3-ϕ1.25 2-ϕ1.30	2			图 6-8		320	1-ϕ1.75	3
225M	225	75	48	1—11	4,5,4,4 4,5,5,4	6-ϕ1.25	2			图 6-8		284	1-ϕ1.90	3
225L	225	100	48	1—11	3,4,4,4 4,4,4,4	4-ϕ1.30 3-ϕ1.25	2			图 6-8		292	1-ϕ1.90	4
280S	280	120	48	1—11	3,4,3,4	6-ϕ1.25 4-ϕ1.18	2			图 6-8		238	1-ϕ2.36	4

续表

机座号	中心高/mm	功率/kW	定子主绕组								转子绕组			配用交流励磁机号
			槽数	节距	每组线圈匝数分配	线规/(根/mm)	并联路数	绕组型式	绕组接法	绕组图号	转子磁极型式	每极匝数	线规/(根/mm)	
280M	280	150	48	1—11	2,3,3,3 3,3,3,3	12-ϕ1.25	2	三相双层叠式	三相四线接法	图 6-8	集中式凸极绕组	240	1-ϕ2.36	4
280L		200	48	1—11	2,2,3,2 2,3,3,2	12-ϕ1.30 2-ϕ1.25	2			图 6-8		181	2×3.55	5
315M	315	250	48	1—11	4	3-ϕ1.30 7-ϕ1.25	4			图 6-9		195	2×3.55	5
315L		300	48	1—11	3,4,4,3	4-ϕ1.30 8-ϕ1.25	4			图 6-9		206	2×3.55	5
400S	400	400	60	1—13	2,3,3,3,3	8-ϕ1.40 6-ϕ1.30	4			图 6-13		270	2×3.55	6
400M		500	60	1—13	2,2,2,2,3	13-ϕ1.40 4-ϕ1.30	4			图 6-13		270	2×3.55	6
400L1		560	60	1—13	2	15-ϕ1.40 4-ϕ1.30	4			图 6-13		272	2×3.55	6
400L2		630	60	1—13	2	23-ϕ1.30	4			图 6-13		272	2×3.55	6

注：表中"每组线圈匝数分配"为"4"表示全部线圈等匝，均为4匝；若线圈匝数不等则如"6、7、7"，表示每组有3线圈，且匝数不等，即每组顺次1、2、3线圈匝数分别为7匝、8匝、8匝；又如表中的"1、5、4、4/4、5、5、4"则表示相邻两组匝数分配也不相同，即1、3组顺次1、2、3、4线圈匝数是：4匝、5匝、4匝、4匝，而2、4组顺次线圈是4匝、5匝、5匝、4匝。

附表6 TFW2/JWW系列三相交流无刷发电机用交流励磁机绕组技术数据

交流励磁机号	配用主发电机座号	功率/kW	电枢绕组								定子绕组		
			槽数	节距	每圈匝数	线规/(根/mm)	并联路数	绕组接法	绕组型式	绕组布接线图	每极匝数	线规/(根/mm)	绕组型式
1	180	0.75	18	1—4	35	2-ϕ0.85	1	Y	三相单层叠式	图6-16	230	2-ϕ0.70	凸极集中式
2	200	0.80	18	1—4	32	2-ϕ0.85	1	Y	三相单层叠式	图6-16	230	2-ϕ0.70	凸极集中式
3	225	1.50	18	1—4	37	1-ϕ0.80 1-ϕ0.85	1	Y	三相单层叠式	图6-16	230	2-ϕ0.70	凸极集中式
4	280	2.80	30	1—4	21	1-ϕ1.18 1-ϕ1.25	1	Y	三相单层叠式	图6-18	230	1-ϕ1.12	凸极集中式
5	315	3.54	30	1—4	15	3-ϕ1.18	1	Y	三相单层叠式	图6-18	230	1-ϕ1.12	凸极集中式
6	400	4.45	30	1—4	16	2-ϕ1.12 1-ϕ1.18	1	Y	三相单层叠式	图6-18	230	1-ϕ1.12	凸极集中式

电机绕组端面模拟彩图总集 第四分册

延边三角形启动绕组·正弦绕组·波式绕组·换向器式电枢绕组·移动式发电机绕组

《电机绕组端面模拟彩图总集》共四个分册。

本丛书特点：

- 采用与定子绕组实物端面接近的画法，并配以相色线条，绕组图清晰明了，拿来就用。
- 每章节有综合介绍，每图例配有绕组结构参数、嵌线要点及绕组结构特点等文字说明，简要易懂。
- 集畅销经典图书之精华，并作改进完善再重新绘制，是绕组原创画法图集。

本书为第四分册，收入三相延边三角形启动绕组、交流转子波绕组、换向器式电枢绕组以及移动式发电机绕组共计195例。

本书是电机维修人员的必备工具书，也可供大专院校相关专业师生参考。

销售分类建议：电工


ISBN 978-7-122-25053-7
9 787122 250537
定价：68.00元